



EESTI MAAÜLIKOOL
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Kristi Kõva

**VÄETAMISE MÕJU MULLA ORGAANILISE AINE
LABIILSELE FRAKTSIOONILE**

**EFFECTS OF FERTILIZATION ON THE LABILE FRACTION OF SOIL
ORGANIC MATTER**

Bakalaureusetöö
Põllumajandussaaduste tootmise ja turustamise õppekava

Juhendaja: vanemteadur Karin Kauer, *PhD*

Tartu 2021

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51006			
Autor: Kristi Kõva		Õppekava: Põllumajandussaaduste tootmine ja turustamine	
Pealkiri: Väetamise mõju mulla orgaanilise aine labiilsele fraktsioonile			
Lehekülgi: 52	Jooniseid: 1	Tabeleid: 8	Lisasid: 6
Osakond: Mullateaduse õppetool			
Uurimisvaldkond: B410 Mullateadus, põllumajanduslik hüdroloogia			
Juhendaja(d): Karin Kauer, PhD			
Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu, 2021			
<p>Mulla orgaaniline aine (MOA) on põllumajanduses oluline looduskapital, mis on tähtis mulla viljakuse ja tootlikkuse säilitamisel. Kuna MOA koosneb mitmetest erinevatest fraktsioonidest, siis tuntakse rohkem huvi selle uurimise vastu. Töö eesmärgiks oli uurida, milline MOA labiilne fraktsioon on kõige tundlikum väetamise suhtes ja hinnata väetamise mõju süsiniku majandamise indeksile (CMI), mis kirjeldab mulla kvaliteeti mulla labiilsuse ja orgaanilise süsiniku sisalduse kaudu. Töö on tehtud metaanalüüsi meetodil. MOA labiilsus ja CMI sõltubväetamisest ja väetise omadustest. Kõige suurem väetamise mõju labiilsetele fraktsioonidele ja CMI-le oli, kui väetamiseks kasutati mineraalseid väetisi koos orgaaniliste väetistega ja kõige väiksem mõju oli mineraalväetistel. Mida suurem on CMI sisaldus, seda suurem mõju oli väetamisel ning seda parema kvaliteediga on MOA, kuna on suurenenud nii stabiilne kui ka labiilne fraktsioon mullas. Väetamise mõju labiilsetele fraktsioonidele ja CMI-le sõltus ka labiilsest fraktsioonist, mille kaudu labiilsust ja CMI hinnati. Kõige paremini sai hinnata väetamise mõju LFOC ja POXC meetodil.</p>			
Märksõnad: mulla orgaaniline süsinik, süsiniku majandamise indeks, labiilsus, labiilsuse indeks, väetis			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Kristi Kõva		Specialty: Production and marketing of agricultural products	
Title: effects of fertilization on the labile fraction of soil organic matter			
Pages: 52	Figures: 1	Tables: 8	Appendixes: 6
Department: Chair of Soil Science			
Field of research: B410 Soil science, agricultural hydrology			
Supervisors: Karin Kauer, PhD			
Place and date: Tartu, 2021			
<p>Soil organic matter (SOM) is an important natural capital in agriculture, which is important for maintaining soil fertility and productivity. As the SOM is composed of several different fractions, there is growing interest in this topic. The aim of the study was to investigate which SOM labile fraction is most sensitive to fertilization and to evaluate the effect of fertilization on the Carbon Management Index (CMI), which describes soil quality through soil lability and organic carbon content. The work has been done by the method of meta-analysis. MOA lability and CMI depended on fertilization and fertilizer properties. The greatest effect of fertilization on labile fractions and CMI was when mineral fertilizers were used together with organic fertilizers and the mineral fertilizers alone had the lowest effect. The higher the CMI content, the greater the effect of fertilization and the better the quality of the SOM due to the increased stable as well as the labile fraction in the soil. The effect of fertilization on labile fractions and CMI also depended on the labile fraction used to the estimation of lability and CMI. The effect of fertilization was best assessed by the LFOC and POXC methods.</p>			
Keywords: soil organic carbon, carbon management index, lability, lability index, fertilizer			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	6
1.1 Mulla orgaaniline aine ja selle tähtsus	6
1.2 Mulla orgaanilise aine koostis	7
1.3 Väetamise mõju mulla orgaanilisele ainele	8
1.4 Labiilse C määramismeetodid	9
1.5 Süsiniku majandamiseindeks.....	11
2. MATERJAL JA METOODIKA	12
3. TULEMUSED JA ARUTELU	14
3.1 Ülevaade uurimustöödest	14
3.2 Katsete kirjeldused	19
3.3 Mulla orgaanilise süsiniku ja labiilse süsiniku vahelised seosed	21
3.4 Väetamise mõju mulla C _{org} ja labiilsete fraktsioonide C sisaldustele	23
3.5 Väetamise mõju mulla labiilsusele ja majandamisindeksile	27
KOKKUVÕTE	31
KASUTATUD KIRJANDUS.....	33
LISAD	43

SISSEJUHATUS

Mullas on 2344 Gt süsiniku (C), mida on kolm korda rohkem, kui seda on atmosfääris ning on suurim maapealne orgaanilise süsiniku (C_{org}) kogum (Stockmann *et al.*, 2013). Väikesed muutused mulla C_{org} varus võivad põhjustada olulisi muutusi atmosfääris oleva süsinikdioksiidi kontsentratsioonis (Stockmann *et al.*, 2013). Põllumajandusmuldade C_{org} sekvetratsioon ehk sidumise hindamine on üha suurenev teadushuvi, eriti tööstusriikides (Paustian *et al.*, 1997 ref Piccolo *et al.*, 2004).

Mulla orgaaniline aine (MOA) koosneb erinevates lagunemistasmetes olevatest C ühenditest, mille alusel jagatakse MOA kahte fraktsiooni: labiilne (kergesti lagunev) ja stabiilne (raskesti lagunev) (Tirol-Padre, Ladha 2004; Mclauchlan, Hobbie 2004). Erinevad välised mõjud avalduvad mulla labiilses fraktsioonis oluliselt kiiremini, võrreldes muutustega kogu MOA-s (Haynes 2000; Conant *et al.*, 2004), mistõttu mulla labiilne fraktsioon sobib hästi välja selgitamiseks, kuidas erinevad majandamisvõtted (sh. väetamine) MOA labiilsust mõjutab. Selle hindamiseks kasutatakse süsiniku majandamise indeksit (CMI), millega saab kindlaks teha C seisundi ja muutuste määra (Blair *et al.*, 1995) ning näitab kuidas, näiteks väetamine, mõjutab mulla orgaanilist ainet.

Orgaaniliste väetistega väetamist peetakse tõhusaks viisiks mulla C_{org} sisalduse suurendamiseks ning makro- ja mikroelementide lisamiseks põllukultuuridele võrreldes mineraalsete väetistega kasutamist (Lal 2009 ref Lu 2020). Lisaks sellele peetakse mineraalsete väetiste kombineeritud kasutamist orgaaniliste väetistega tõhusaks meetodiks kõrge taimekasvatuse ja agroökosüsteemide jätkusuutliku arengu saavutamiseks (Maltas *et al.*, 2018).

Eelnevast tulenevalt on käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks selgitada välja väetamise mõju labiilsele fraktsioonile ja hinnata väetamise CMI-ile, mis kirjeldab mulla kvaliteeti kombineerides nii kogu MOA-s, kui MOA labiilses fraktsioonis toimunud muutused ühe näitaja alla. Töö hüpotees oli, et väetamine mõjutab MOA labiilsust ja suurendab mulla CMI-id.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Mulla orgaaniline aine ja selle tähtsus

MOA moodustab varis ja huumus (Astover *et al.*, 2012). Varis koosneb loomade lagunemata ja poollagunenud jäänustest ning surnud taimedest ning huumus koosneb huumusainetest ja eelhumusest (Astover *et al.*, 2012), mis on pruuni või musta värvusega materjal (Johnston *et al.*, 2009). MOA on heterogeenne ja dünaamiline mullakomponent, mis on oluline ökosüsteemi osa, millel on oluline roll mulla struktuuri moodustamisel ning stabiliseerimisel, mis muudab mulla vastupidavaks erosioonile, reguleerib mulla niiskust, taimede ja mikroobide toitainetega varustamist ning pikaajalist C varu mullas (McLauchlan, Hobbie 2004; Magdoff, Weil 2004). Lisaks vähendab taimetoitainete leostumist põhjavette (Fageria 2012). MOA koosneb orgaanilistest ühenditest, mis sisaldavad peamiselt C, vesinikku, hapnikku (Astover *et al.*, 2012), kuid ka lämmastikku (N), fosforit (P) ja väävlit (S), ja teisi toitaineid (Johnston *et al.*, 2009). Kõige rohkem sisaldab muld C_{org} , mis moodustab ligikaudu 58% MOA-st (Lal 2004), seetõttu kirjeldatakse MOA-t peamiselt mulla C_{org} sisalduse kaudu (Weil *et al.*, 2004 ref Pärnpuu 2019:7). MOA moodustumine hõlmab erineva kvaliteediga taimsete materjalide mikroobset muundamist füüsikalise-keemilise stabiliseerumisega mulla agregatsiooni kaudu (Bahadori *et al.*, 2021). Mullaliigist sõltuvalt võib MOA sisaldus varieeruda suurtes piirides. Näiteks kerge lõimisega kõrbeliivmullad võivad sisaldada umbes 2 g kg^{-1} , kuid turvasmullas võib sisaldus ulatuda kuni 800 g kg^{-1} . Haritud mineraalmullad sisaldavad tavaliselt $10\text{--}40 \text{ g kg}^{-1}$ orgaanilist ainet A-horisondis (Magdoff, Weil 2004). Aastatel 2011–2016 mõõdetud Eesti põllumajandusmaa mineraalmuldade C_{org} sisaldused varieerusid vahemikus $11,5\text{--}22,2 \text{ g kg}^{-1}$ (Tammik *et al.*, 2018).

Orgaanilise aine kogus mullas sõltub mulda mineva orgaanilise materjali sisendist, mulla tekstuurist, kliimast ning lagunemise määrast, mille juures MOA mineraliseerub (Johnston *et al.*, 2009). Samuti sõltub orgaanilise aine kogus mullas mullaharimise intensiivsusest, kasvatatud kultuurist (Heenan *et al.*, 1995 ref Fageria 2003) ning N väetise sisendist (Bhokal *et al.*, 1997 ref Fageria 2012). Aastane C sisend mulda on peamine mulla C_{org} dünaamikat

mõjutav tegur ning erinevat tüüpi C sisendid võivad käituda erinevalt sõltuvalt C sisendi ja mullaomadustest (Berti *et al.*, 2016).

1.2 Mulla orgaanilise aine koostis

MOA on põllumajandusliku tootmise jaoks oluline looduskapital, sest see mängib olulist rolli mulla viljakuse parandamisel ja mulla tootlikkuse säilitamisel, mõjutab mulla füüsikalisi, keemilisi ja bioloogilisi omadusi ning on tähtis globaalses C ringes (Reeves 1997; Gentile *et al.*, 2020). Mulla mikroorganismid mängivad olulist rolli mulla C_{org} ringluses (Pajares *et al.*, 2011; Oleszczuk *et al.*, 2014).

MOA jaguneb peamiselt kaheks fraktsiooniks: stabiilne ehk aeglaselt lagunevaks fraktsiooniks ja labiilne ehk kiiresti lagunevaks fraktsiooniks (Tirol-Padre, Ladha 2004; McLaughlan, Hobbie 2004). Stabiilne ehk aeglaselt lagunev fraktsioon võib mullas püsida aastaid või isegi aastakümneid (Tirol-Padre, Ladha 2004). MOA kõige kiiremini laguneva fraktsiooni koostisosad on süsivesikud, aminohapped, peptiidid, aminosuhkrud ning lipiidid, millele järgnevad vähem lagunevad struktuursed ühendid nagu vahad, rasvad, vaigud, ligniin, tselluloos ja hemitselluloos (Tirol-Padre, Ladha 2004). Labiilne fraktsioon võib laguneda mõne nädala või kuuga (Tirol-Padre, Ladha 2004), sisaldades erinevates lagunemisastmetes olevat taimset ja loomset biomassi, surnud mikroobide biomassi ja juureeritisi (Bolan *et al.*, 2011). See fraktsioon koosneb kiiresti mineraliseeruvatest ja vähe püsivatest orgaanilistest C ühenditest (Astover *et al.*, 2012), mis ei ole seotud mulla mineraalidega (Theng *et al.*, 1989 ref Tirol-Padre, Ladha 2004). MOA püsivus mullas on leitud olevat seotud moodustunud keemiliste sidemetega mulla mineraalse osa ja orgaanilise aine vahel (Cotrufo *et al.*, 2019). Labiilseid fraktsioone peetakse sellepärast „labiilseteks“, kuna mikroorganismid lagundavad neid kergesti (Shen *et al.*, 2021), kui neid ei kaitse füüsikalised ja keemilised protsessid (Silveira *et al.*, 2008). Labiilne fraktsioon mullas on mulla mikroorganismidele põhiliseks toidu- ja energiaallikaks (Astover *et al.*, 2012), mineraliseeruvate N, P ja S esmaseks allikaks ning see mõjutab elementide kättesaadavust mullas, moodustades lahustuvaid komplekse (Stevenson 1994). Labiilse fraktsiooni sisaldus sõltub MOA kogusest, mitte mulla orgaanilise aine keemilisest koostisest (Bahadori *et al.*, 2021).

MOA labiilset fraktsiooni kasutatakse mulla kvaliteedi ja koostise muutumise hindamiseks (Benbi *et al.*, 2015; Quanying *et al.*, 2014), sest erinevatest teguritest tingitud muutused ilmnevad kiiremini mulla labiilses fraktsioonis (Malobane *et al.*, 2020). Näiteks labiilse C fraktsioonid muldades võivad reageerida kiiresti C sisendite muutustele (Bolinder *et al.*, 1999 ref Banger *et al.*, 2010). Labiilseid mulla C_{org} varusid peetakse laialdaselt väärtuslikeks indikaatoriteks mulla C_{org} varus toimunud muutuste ja erinevate muldade majandamistavade muutustest põhjustatud dünaamika kohta (Quanying *et al.*, 2014). MOA fraktsioneerimist kasutatakse MOA lagunemis- ja stabiliseerimisprotsesside mõistmiseks ja modelleerimiseks (Poeplau *et al.*, 2018). MOA fraktsioneerimine võimaldab uurida MOA rolli mullaprotsessides (Osat, Heidari 2010).

1.3 Väetamise mõju mulla orgaanilisele ainele

Mulla C_{org} sisaldus kirjeldab tasakaalu mulda mineva orgaanilise aine koguse (C sisend) ja ära lagunenud orgaanilise aine koguse vahel (Follet 2001; Jastrow *et al.*, 2007). Mulla C_{org} sisalduse ja C sisendi vahel on positiivne seos (Kauer *et al.*, 2019). Mida suurem on taimede produktiivsus, seda suurem on mulda mineva C kogus. Produktiivsust on võimalik suurendada väetamisega, millel on oluline roll MOA moodustamisel ja stabiliseerimisel, reguleerides erinevaid mikroobseid omadusi (aktiivsust, kooslust jms.) (Duan *et al.*, 2020; Dhanker *et al.*, 2020). Mineraalse N väetise mõju kohta MOA-le on leitud vastakaid tulemusi. On leitud, et mineraalne N väetise kasutamine stabiliseerib MOA-d ja mulla erinevaid fraktsioone (Swanton *et al.*, 2004), kuid pidurdab vanema MOA mineraliseerumist (Hagedorn *et al.*, 2003). Varasematest pikaajalistest katsetest on täheldatud, et MOA sisaldus suureneb, kui väetatakse mineraalsete N väetisega (Glendining, Powlson, 1995 ref. Johnston 2009), kuid samas tuleb arvestada ka võimalusega, et mineraalse N väetisega väetamine võib kiirendada orgaanilise aine lagunemist ning C_{org} varu ei pruugi suureneda (Kauer *et al.*, 2015; Poeplau *et al.*, 2017). Korduv mineraalsete väetiste kasutamine võib põhjustada mulla C_{org} vähenemist, eriti kui mikroobide poolt lagundatud C kogus on suurem, kui põllukultuuride jääkide C sisaldus (Jiang *et al.*, 2014, ref Lu 2020).

Mulda viidava C sisendi kogust saab suurendada ka mulda viidavate C-rikaste orgaaniliste väetistega. On leitud, et sõnnik on ülekaalukalt kõige tõhusam orgaaniline väetis (Berti *et al.*, 2016). Orgaaniliste väetistega viiakse mulda lisaks C-le ka toitaineid (nii makro-, kui

mikroelemente), millega on võimalik vähendada sõltuvust mineraalväetistest. Orgaaniliste väetiste abil suurendatakse MOA sisaldust ja parandatakse mulla füüsikalisi näitajaid (agregaatide stabiilsus suureneb, lasuvustihedus väheneb, veehoiuvõime suureneb jne), mis loob paremad tingimused taimede kasvuks, mille tulemusena võib saagikus suurened (Ding *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2010). Mida suuremad on orgaanilise väetise (sõnniku) kogused, seda rohkem mulla C_{org} ja MOA erinevate C-fraktsioonide sisaldused suurenevad (Ding *et al.*, 2012, Gong *et al.*, 2009). Rong *et al.* (2016) leidsid oma uuringus, et sõnniku mõjul koos mineraalsete väetistega väetamise korral mulla C_{org} sisaldused suurenesid umbes 3–4 korda rohkem võrreldes ainult mineraalsete väetistega.

Lääne-Leedus läbiviidud uuringus leiti samuti, et orgaaniliste väetiste kasutamine (60–120 t ha⁻¹) avaldab märkimisväärset positiivset mõju mulla C_{org} sisalduse suurenemisele (0,1–0,4% suurem C_{org} sisaldus võrreldes kontrollvariandiga) ning erinevate orgaaniliste väetiste (sõnnik, alternatiivsed orgaanilised väetised – taimejäätmel) kasutamine avaldas olulist mõju erinevate C fraktsioonide jaotumisele (Mockeviciene *et al.*, 2021). Samuti näitasid Mockeviciene *et al.* (2021) uuringu tulemused, et alternatiivsete orgaaniliste väetistega väetamine mõjutas mulla C_{org} sisaldust vähem võrreldes sõnnikuga, mis oli tingitud sellest, et alternatiivsed orgaanilised väetised mineraliseeruvad mullas kiiresti, sest sisaldavad rohkem N (Van Groenigen *et al.*, 2010; Boeni *et al.*, 2014 ref Mockeviciene *et al.*, 2021).

1.4 Labiilse C määramismeetodid

MOA eraldamiseks labiilseks ja stabiilseks fraktsiooniks kasutatavad meetodid tuginevad keemilisele, füüsikalisele või bioloogilisele eraldamisele (Doran *et al.*, 1999; Karlen *et al.*, 1998 ref McLauchlan, Hobbie 2004). Keemilist fraktsioneerimist kasutatakse tavaliselt MOA-s leiduvate elementide ja molekulaarsete ühendite sisalduste määramiseks, samuti nende koostisosade ja muude mullale lisatud orgaaniliste ühendite koostoime määramiseks. Füüsikalised fraktsioneerimismeetodid eraldavad MOA suuruse ja/või tiheduse alusel ning nendel meetoditel eraldatud fraktsioone iseloomustavad tavaliselt nende keemilised ja bioloogilised omadused, et selgitada nende funktsionaalset olulisust. MOA füüsikaline fraktsioneerimine on alternatiivne meetod labiilse fraktsiooni määramiseks (Vieira *et al.*, 2007). MOA iseloomustamiseks ning erinevate MOA fraktsioonide koguse ja lagunemiskiiruse hindamiseks kasutatakse ka sageli bioloogilisi meetodeid. Bioloogiline

fraktsioneerimine eristab mikroobse biomassi ja potentsiaalselt mineraliseeruvat C (Zhang *et al.*, 2011). See meetod eeldab, et mikroobid mineraliseeruvad kõigepealt kõige labiilsema C-ga ja vastupidav C mineraliseerub hiljem (McLauchlane, Hobbie 2004).

Mulla labiilsed C fraktsioonid on mikroobne biomass C (*microbial biomass C*) (MBC), veega ekstraheerunud C (C_{ex}), kerge fraktsiooni orgaaniline C (*light fraction organic C*) (LFOC), hõljuv orgaaniline C, mis on seotud liivaosakestega (osakeste läbimõõt 63–2000 μm) (*particulate organic C*) (POC) ja kaaliumpermanganaadilahuses oksüdeeruv C (*oxidizable in permanganaate solution C*) (POXC) (Li *et al.*, 2018).

MBC fraktsioon esindab MOA elusat fraktsiooni (Ramesh *et al.*, 2019) ja see mängib olulist rolli toitainete ringluses ning MOA lagundamises ja muundumises (Quanying *et al.*, 2014). MBC määramiseks kasutatakse mulla fumigeerimist ja mikroobse hindamise käigus eralduva CO_2 määramist suletud ja avatud inkubeerimissüsteemides (Haynes, 2005). C_{ex} on orgaaniliste molekulide kompleksne segu mitmekesise päritoluga (Karabcova *et al.*, 2015), mis lahuseks läbib 0,45 μm filtrit (Zsolnay 2003 ref Bolan *et al.*, 2011). Värskest lisatud orgaanilised jätmed, juureeritised ja mikroobide biomass mõjutavad ja täiendavad C_{ex} sisaldust pidevalt (Ramesh *et al.*, 2019). C_{ex} on väga labiilne fraktsioon ning keemilise koostise ja liikuvuse osas mõjutab otseselt mulla bioloogilisi omadusi (Karabcova *et al.*, 2015). Mulla C_{ex} sisaldust mõjutavad nii biootilised kui ka abiootilised tegurid (Ramesh *et al.*, 2019). LFOC määratakse tihedusfraktsioneerimise meetodil. Määramisel kasutatakse kindla tihedusega (tavaliselt 1,6 g cm^{-3}) soolalahust (naatriumpolüvolframaadi (NAPT) või –jodiidilahust (NaI). LFOC jääb lahuse pinnale hõljuma, sest on kergem, kui lahuse tihedus. LFOC pärineb enamasti mulda viidud värskest orgaanilistest ainest (taimejätmed vms.), mis on lagunemata või osaliselt lagunenu (Janzen *et al.*, 1992 ref Zhang *et al.*, 2020). POC on mulla liivafraktsiooniga (53–2000 μm) seotud C (Ramesh *et al.*, 2019). Selle sisaldus määratakse fraktsioneerides mullaosakesi osakeste suuruse abil (Shen *et al.*, 2021). POXC esindab mulla harimise suhtes tundliku labiilset fraktsiooni, mis on MOA, toitainete, mulla struktuuri, mikroobide aktiivsuse kohta väga informatiivne ja mida kasutatakse mitmesuguste mullafunktsioonide näitajana, näiteks C sidumine, toitainete ringlus, mulla struktuuri kujunemine ning muld kui elurikkuse elupaik (Bongiorno *et al.*, 2019).

1.5 Süsiniku majandamiseindeks

Maakasutuse erinevuste kajastamiseks ei saa aga kasutada ainult ühte C sisalduse näitajat kui kõige tundlikuma mulla kvaliteedi näitajat (Geraei *et al.*, 2016). Süsiniku majandamise indeksit (CMI) saab kasutada põllumajandus- ja loodussüsteemides mulla C seisundi ja muutuste määra kindlaksmääramiseks (Blair *et al.*, 1995). CMI tuletatakse mulla C_{org} sisaldusest ja MOA labiilsusest (Vieira *et al.*, 2007), mis võimaldab hinnata muutusi mulla kvaliteetis (Blair *et al.*, 1995). Vaatamata sellele, et on olemas palju pikaajalisi eksperimente, mis võivad anda palju asjakohaseid andmeid, kuidas erinevad harimisvõtted mõjutavad mulla C varu, on siiski vähe uuringud, mis seovad kogu mulla C_{org} sisalduse ja C labiilsuse CMI-sse, et hinnata erinevate harimisvõtete mõju mulla kvaliteedile (Vieira *et al.*, 2007).

2. MATERJAL JA METOODIKA

Töö on koostatud metaanalüüsi meetodil ja on tehtud teadusartiklite põhjal, mis on leitud andmebaasist *Web of Science*. Teadusartiklite otsimisel kasutati märksõnu „*soil organic matter*“, „*soil organic carbon*“, „*labile organic carbon*“, „*analysis of labile organic carbon in soils*“, „*fertilization effect on the soils organic matter (or carbon)*“. Märksõnade abil leitud teadusartiklitest valiti välja sobivamad, kus oli esitatud CMI arvutamiseks vajalikud andmed nii kontroll-, kui ka väetatud variantide kohta. Vajalikud andmed olid mulla C_{org} ja erinevatel meetoditel määratud labiilse fraktsioonide C sisaldused (ühes artiklis pidi olema vähemalt kahel erineval meetodil määratud labiilse C sisaldus).

Artiklitest leiti ka katse taustaandmed: asukoht, mullaliik, lõimis (mulla osakeste osakaal), mulla pH, piirkonna keskmine õhutemperatuur, sademete hulk ja algne C_{org} sisaldus. Osades artiklites polnud mullalõimist määratud, kuid oli esitatud mulla osakeste osakaal, mille alusel oli võimalik lõimiseklass määrata kasutades lõimise kolmnurka „Mullateaduse: Õpik kõrgkoolidele“ raamatust (Astover *et al.*, 2012).

Teadusartiklitest saadud andmete abil arvutati iga väetusvariandi kohta C_{org} sisalduse indeks (CPI) ja iga labiilse C fraktsiooni kohta labiilsus (L), labiilsuse indeks (LI) ja CMI kasutades järgmisi valemeid:

$$CPI = C_{org_var} / C_{org_kontr},$$

kus CPI on C_{org} sisalduse indeks, C_{org_var} on C_{org} sisaldus väetatud variandis ja C_{org_kontr} on C_{org} sisaldus kontrollvariandis;

$$L = C_{lab} / C_{mittelab},$$

kus L on labiilsus, C_{lab} on labiilse fraktsiooni C kontsentratsioon ning $C_{mittelab}$ on leitud C_{org} kontsentratsiooni ja labiilse fraktsiooni C kontsentratsiooni erinevuse kaudu:

$$C_{mittelab} = C_{org} - C_{lab};$$

$$LI = L_{\text{var}} / L_{\text{kontr}},$$

kus LI on labiilsuse indeks, L_{var} on väetatud variandi ja L_{kontr} on kontrollvariandi labiilsus;

$$CMI = CPI \times LI \times 100,$$

kus CMI on süsiniku majandamise indeks, CPI on C_{org} sisalduse indeks ja LI on labiilsuse indeks.

Andmete põhjal leiti erinevate näitajate (C_{org} ja labiilsete fraktsioonide C sisaldused, CPI, L, LI ja CMI) keskmised väärtused sõltuvalt väetamisest: (i) mineraalsed väetised; (ii) orgaanilised väetised; (iii) mineraalsed väetised koos orgaaniliste väetistega. Mulla C_{org} ja labiilsete fraktsioonide C sisalduste muutuste hindamiseks leiti iga väetusvariandi kohta protsentuaalne muutus võrreldes kontrollvariandiga, seejärel leiti muutuste keskmine sõltuvalt käesolevas töös kasutatud kolmest väetusvariandist. Leiti ka Spearmani korrelatsiooniga C_{org} ja labiilsete fraktsioonide omavaheline usutav seos.

Statistiline andmetöötlus viidi läbi MS Excel tarkvara kasutades.

3. TULEMUSED JA ARUTELU

3.1 Ülevaade uurimustöödest

1. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping system

(Vieira *et al.*, 2007), edaspidi allikas I.

Uurimustöö viidi läbi Lõuna-Brasiilias aastatel 1983–2002 (tabel 1).

Uuringu eesmärk oli hinnata füüsikalist fraktsioneerimist tihedusega ($N_{al} 1,8 \text{ g cm}^{-3}$) ja osakeste suuruse eraldamist ($53 \mu\text{m}$ sõela) kui alternatiivset meetodit labiilse C määramisele POXC kaudu ning seeläbi hinnata CMI-d. Lisaks oli eesmärk hinnata mineraalse N väetisega väetamise (180 kg N ha^{-1}) mõju CMI-le kahes külvikorras (kaer-mais ja kaer + hiirehernes-mais) (tabel 2).

2. Long-term effect of manure and fertilizer on soil organic carbon pools in dryland farming in Northwest China

(Liu *et al.*, 2013), edaspidi allikas II.

Uurimustöö tehti Hiinas Gansus aastatel 1979–2008.

Uuringu eesmärk oli uurida pikaajalise väetamise mõju mulla C_{org} sisaldusele ja MOA fraktsioonilisele koostisele. Analüüsiti kuue väetusvariandi mõju mullale talinisu-mais külvikorras: kontroll, mineraalne N-väetis (90 kg N ha^{-1}), mineraalne NP-väetis (90 kg N ha^{-1} , 30 kg P ha^{-1}), sõnnik (75 t ha^{-1} , millega viidi mulda 40 kg N ha^{-1} ja 26 kg P ha^{-1}), NP + põhk (90 kg N ha^{-1} , 30 kg P ha^{-1} , põhk kogus oli $5,6 \text{ t ha}^{-1}$, millega viidi mulda N oli $29,8 \text{ kg N ha}^{-1}$) ja NP + sõnnik (90 kg N ha^{-1} , 30 kg P ha^{-1} , sõnnikunorm 75 t ha^{-1} , millega viidi mulda 40 kg N ha^{-1}).

3. Soil labile organic carbon fractions and soil enzyme activities after 10 years of continuous fertilization and wheat residue incorporation

(Zhang *et al.*, 2020) edaspidi allikas III.

Uurimustöö viidi läbi Hiinas Anhui provintsis aastatel 2008–2017.

Uuringu eesmärk oli uurida väetamise ja taimejäätmete mulda tagastamise mõju MOA fraktsioonilisele koostisele ja CMI-le nisu-maisi külvikorras. Katse koosnes kolmest väetusvariandist: kontroll, mineraalne väetis (540 kg N ha^{-1}) (taimejäätmed eemaldati); mineraalne väetamine + maisi koristusjäätmed (540 kg N ha^{-1} , tagastatud taimejäätmete kogus oli $7,5 \text{ t ha}^{-1}$) (eemaldati ainult nisupõhk).

4. Soil labile organic carbon fractions and soil organic carbon stocks as affected by long-term organic and mineral fertilization regimes in the North China Plain (Li *et al.*, 2018), edaspidi allikas IV.

Uurimustöö tehti Hiinas Dezhou katsejaamas aastatel 1986–2021.

Selle uuringu eesmärk oli uurida mulla C_{org} ja labiilsete fraktsioonide C kontsentratsioonide muutusi 26-aastase väetamisrežiimi korral nisu-mais külvikorras. Analüüsiti kuue erinevat väetusvariandi mõju mullale: kontroll, mineraalne N väetis ($375\text{--}450 \text{ kg N ha}^{-1}$), sõnnik (sõnnikukogust ei ole esitatud, kuid sõnnikuga mulda viidud N kogus varieerus vahemikus $375\text{--}450 \text{ kg N ha}^{-1}$), $\frac{1}{2}$ N-väetis + $\frac{1}{2}$ sõnnik ($187,5\text{--}225 \text{ kg N ha}^{-1}$ + $187,5\text{--}225 \text{ kg N ha}^{-1}$), topelt N väetis ($2 \times 375 \text{ kg N ha}^{-1}$ – $2 \times 450 \text{ kg N ha}^{-1}$), topelt sõnnik ($2 \times 375 \text{ kg N ha}^{-1}$ – $2 \times 450 \text{ kg N ha}^{-1}$).

5. Long-term fertilization and residue return affect soil stoichiometry characteristic and labile soil organic matter fractions

(Lou *et al.*, 2017), edaspidi allikas V.

Uurimustöö tehti Kirde-Hiinas Jilini põllumajandusülikoolis aastatel 1984–2014. Analüüsiti monokultuurina kasvatatud maisi koristusjäätmete tagastamise mõju mulla fraktsioonilisele koostisele. Tagastatud taimejäätmete kogused olid: 0, 2,5, 5,0 t ha^{-1} . Lisaks oli katses 8 väetusvarianti: kontroll, mineraalne N väetis (150 kg N ha^{-1}), P väetis ($34,5 \text{ kg P ha}^{-1}$), NP väetis (150 kg N ha^{-1} , $34,5 \text{ kg P ha}^{-1}$) ning NPK väetis (150 kg N ha^{-1} , $34,5 \text{ kg P ha}^{-1}$, $62,2 \text{ kg K ha}^{-1}$).

6. Differences in labile soil organic matter explain potential denitrification and denitrifying communities in a long-term fertilization experiment

(Surey *et al.*, 2020), edaspidi allikas VI.

Uurimustöö tehti Saksamaal aastatel 1902–2016.

Katses uuriti erinevate väetusvariantide mõju mullale C_{org} sisaldusele ja koostisele.

Külvikord oli kuni 2014. aastani suhkrupeet-suviuder-kartul-talinisu ja alates 2015. aastast silomais-suviuder-silomais-talinisu. Katses olid järgmised väetusvariandid: kontroll, mineraalne N väetis ($80\text{--}170\text{ kg N ha}^{-1}$); mineraalne NP ($80\text{--}170\text{ kg N ha}^{-1}$, 60 kg P ha^{-1}); sõnnik (sõnnikunorm oli 30 t ha^{-1} igal teisel aastal, millega viidi mulda $60\text{--}150\text{ kg N ha}^{-1}$ sõltuvalt kultuurist), sõnnik koos mineraalse N väetisega (nendega viidi mulda $60\text{--}150\text{ kg N ha}^{-1}$) ning sõnnik koos mineraalse NP-ga (nendega viidi mulda $60\text{--}150\text{ kg N ha}^{-1}$ ja 12 kg P ha^{-1}) (lisa 1).

7. Labile organic matter fractions as early-season nitrogen supply indicators in manure-amended soils

(Thomas *et al.*, 2015), edaspidi allikas VII.

Uurimustöö tehti Kanadas Lava ülikooli katsefarmis aastatel 2009–2012. Külvikord oli suvinisu/mais-sojauba-suvinisu. Katses oli 2 erineva lõimisega mulda (tolmjas savi ja kerge liivsavi) ja 5 väetusvarianti: kontroll, mineraalne NPK väetis (90 kg N ha^{-1} , $9,2\text{--}13,8\text{ kg P ha}^{-1}$ sõltuvalt mullaliigist, $16,6\text{ kg K ha}^{-1}$), vedelseasõnnik (sõnnikunorm ei esitatud, kuid sõnnikuga viidi mulda $112,5\text{ kg N ha}^{-1}$), vedelveisesõnnik ($112,5\text{ kg N ha}^{-1}$), kanasõnnik ($112,5\text{ kg N ha}^{-1}$).

Tabel 1. Uurimusalade kirjeldused

Allikas	Riik	Mullaliik (klassifikatsioon)	Katse kestus		Lõimis	Mulla osakeste osakaal, %			Keskmine temperatuur, °C	Keskmine sademete kogus, mm	Algne C _{org} (g kg ⁻¹)	pH
			Algus	Lõpp		Liiv	Savi	Tolm				
I	Brasiilia	<i>Acrisol</i> (FAO)	1983	2002	ls ₃ ¹	54	22	24	19,4	1440	-	-
II	Hiina	<i>Regosols</i> (FAO)	1979	2008	-*	-	-	-	9,8	540	6,2	8,2
III	Hiina	<i>Calcic vertisol</i> (WRB)	2008	2017	s ²	32	41	26	15,5	820	-	6,5
IV	Hiina	<i>Fluva – aquic</i> (-)	1986	2012	tls ₁ /tls ₂ ³	13,0	21,4	65,6	13,4	569	3,9	-
V	Hiina	<i>Typic Hapludoll</i> (USDA)	1984	2014	-	-	-	-	4,8	615	-	-
VI	Saksamaa	<i>Haplic Chernozem</i> (-)	1902	2016	tls ₁ /tls ₂ ³	10	20	70	8,8	486	-	-
VII _a	Kanada	<i>Dystric Eutrudept</i> (USDA)	2009	2012	s ⁴	16,3	43,2	40,5	-	-	35,0	6.8
VII _b	Kanada	<i>Typic Dystrudept</i> (USDA)	2009	2012	ls ₁ ⁵	68	17	15	-	-	19,0	7,0

*Ei ole esitatud; ¹raske liivsavi; ²savi; ³tolmjas kerge liivsavi ja tolmmas keskmine liivsavi; ⁴tolmjas savi; ⁵kerge liivsavi.

Tabel 2. Katsevariandid ja nende kirjeldused erinevates katsetes

Alli- kas	Variant	Külvikord	Mineraalse väetise N/P/K norm, kg ha ⁻¹	Orgaanilis e väetise kogus, t ha ⁻¹	Orgaanilise väetisega antud N kogus, kg ha ⁻¹	C sisend, t ha ⁻¹
I	Kontroll	Must kaer/mais	0/0/0	0	0	3,4
	N väetis		180/0/0	0	0	4,3
	Kontroll	Must kaer + hiirehernes/ mais	0/0/0	0	0	4,3
	N väetis		180/0/0	0	0	4,9
II	Kontroll	Mais (2 a.) - nisu (4 a.) - mais (2 a.) - nisu (6 a.) - soja (1 a.) - sorgo (1 a.) - nisu (4 a.) – mais (2 a.) - nisu (2 a.)	0/0/0	0	0	0,69
	N väetis		90/0/0	0	0	0,95
	NP väetis		90/30/0	0	0	1,34
	Vedel veisesõnnik		0/0/0	75	40	1,72
	NP väetis + põhk		90/30/0	75	40	3,89
	N väetis + vedel veisesõnnik		90/0/0	75	40	2,11
III	Kontroll	Talinisu/mais	0/0/0	0	0	-
	N väetis		540/0/0	0	0	-
	N väetis + põhk		540/0/0	0	0	-
IV	Kontroll	Talinisu/mais	0/0/0	0	0	0,97
	N väetis		375–450/0/0	0	0	2,83
	Komposteeritud veisesõnnik		0/0/0	0	375–450	9,30
	½ N väetis + ½ komposteeritud veisesõnnik		187,5–225/0/0	0	187,5–225	6,14
	2 x N väetis		2x375 2x450/0/0	0	0	2,77
	2 x komposteeritud veisesõnnik		0/0/0	0	2x375 2x450	16,31
V	Kontroll	Mais	0/0/0	0	0	0
						2,5
						5
	N väetis		150/0/0	0	0	0
						2,5
						5
	P väetis		0/0/0	0	0	0
						2,5
						5
	NP väetis		150/0/0	0	0	0
						2,5
						5
	NPK väetis		150/34,5/62,2	0	0	0
						2,5
						5

Tabel 2 (järg). Katsevariandid ja nende kirjeldused erinevates katsetes

VI	Kontroll	Suhkrupeet- suviodes – kartul – talinisu (kuni 2014) solimais – suviodes – silomais – talinisu (alates 2015)	0	0	-	-
	N väetis		80–170 ² /0/0	0	-	-
	NP väetis		80–170 ² /60/0	0	-	-
	Sõnnik		60–150 ² /0/0	30 ¹	-	-
	N väetis + sõnnik		60–150 ² /0/0	30 ¹	-	-
	NP väetis + sõnnik		60–150 ² /60/0	30 ¹	-	-
VII _a ³	Kontroll	Suvinisu/mais – sojauba - suvinisu	0/0/0	0	0	-
	NPK väetis		90/13,8/16,6	0	0	-
	Vedelseasõnnik		0/0/0	-	112,5	-
	Vedelveisesõnnik		0/0/0	-	112,5	-
	Kanasõnnik		0/0/0	-	112,5	-
VII _b ³	Kontroll		0/0/0	0	0	-
	NPK väetis		90/9,2/16,6	0	0	-
	Vedelseasõnnik		0/0/0	-	112,5	-
	Vedelveisesõnnik		0/0/0	-	112,5	-
	Kanasõnnik		0/0/0	-	112,5	-

¹Sõnnikut anti aastani 2014 enne suhkrupeeti ja kartulit ning hiljem enne maisi;

²Väetamise norm sõltus kultuurist, väetamise täpsemad andmed on esitatud Lisas 1.;

³Andmed saadud Samson et al. (2020) tööst.

3.2 Katsete kirjeldused

Ülevaate katsete kohta annab tabel 1. Katsed asusid Brasiilias, Hiinas, Saksamaal ja Kanadas. Hiinas oli 4 erinevat katset. Riigid asuvad parasvöötmes. Aasta keskmine sademete kogus varieerus vahemikus 486–1440 mm. Õhutemperatuur varieerus vahemikus 4,8–19,4 °C. Keskmine sademete koguse ja keskmise temperatuuri andmed puudusid allikal VII.

Peamisteks mullaliikideks olid *Acrisol* (Allikas I), *Regosols* (Allikas II), *Calcic vertisol* (Allikas III), *Fluvo-aquic* (Allikas IV), *Typic-Hapludoll* (Allikas V), *Haplic Chernozem* (Allikas VI), *Dystric Eutrudept* (Allikas VII_a) ja *Typic Dystrudept* (Allikas VII_b).

Acrisols tekivad vanadel maastikel, millel on lainetav topograafia ja, mis asuvad niiskes troopilises kliimas. Nende looduslik taimestik on mets. Nende muldade vanus, mineraloogia

ja ulatuslik leostumine on viinud madalate taimetoitainete, liigse alumiiniumi ja kõrge erodeeritavuse tasemini, mistõttu põllumajanduse rakendamine antud muldadel on problemaatiline võimaldades neil kasvatada ainult happelist keskkonda taluvaid kultuure. *Acrisols* mullad hõivavad veidi alla 8% kogu maailma mandriosa pinnast, hõlmates kogu Ladina-Ameerika kesk- ja põhiosa, Kagu-Aasia ja Lääne-Aafrika alasid. (Britannica 2016)

Regosols on noored nõrgalt väljaarenenud mineraalmullad õhukese huumushorisondiga ja on tekkinud sügavatel, hästi kuivendatud, keskmise tekstuuriga vanematel lähtekivimitel. *Regosols* esinevad laialdaselt erodeeritud aladel, eriti kuivemates kliimavöötmes ja mägipiirkondades, olles märgadel perioodidel erosiooni suhtes tundlikud. *Regosols* moodustavad kuiva hooaja alguses kõva pinnakooriku; koorik takistab seemikute tekkimist ning vihma- ja kastmisvee imbumist kuival perioodil. Nende muldade madala struktuuriline sidusus tähendab, et piirkondades, kus erosiooni aktiivsus on tugev, nagu näiteks mäenõlvadel, on nende muldade kasutamine kõige parem metsamaana. (Meek *et al.*, 2008)

Vertisols-e iseloomustab savisuuruste osakeste ($<53\ \mu\text{m}$) vähemalt 30%-line sisaldus mullaprofiili ülemise 0,5 meetrise kihi kõikides horisontides. Need mullad on tumedat värvi, kuigi neil on vaid mõõdukas huumuse sisaldus. Ehkki on toitainerikkad, siis kõrge savisisalduse tõttu ei sobi need mullad hästi viljelemiseks. *Vertisols-e* leidub tasasel või kerge kaldega topograafia kliimatsioonides, kus on esinevad märjad ja kuivad aastajaad. Hinnanguliselt hõivavad nad umbes 2,7% mandrimaast. (Britannica 2018)

Fluvo – aquic kuuluvad *Inceptisols*-i (USDA mullaklassifikatsioon) alla ning on Põhja-Hiina tasandikul peamine mullatüüp (Kong *et al.*, 2014). Samuti kuuluvad ka *Inceptisols*-ide alla *Dystric – Eutrudept* ja *Typic – Dystrudept*. *Inceptisols*-id on noored ja nõrgalt väljaarenenud mullad. Neid on kogu maailmas kõige rohkem, hõivates umbes 22% kogu mittepolaarse mandriosa pindalast esinedes alates jõe deltadest kuni kõrgustike metsadeni ja tundrateni. (Britannica 2012).

Typic – Hapludolls kuuluvad *Mollisols* hulka. *Mollisols-e* iseloomustab huumuse akumulatsioon ülemises horisondis, mis moodustab peaaegu alati pärisrohttaimestiku all. Olulisi mineraalseid toitaineid nagu kaltsium, magneesium, kaalium, naatrium, mida leidub enamikus mullaprofiilide kihtides, kuid mitte kõigis. Mullal on iseloomulik tumedat värvi ülemine horisont. *Mollisols* on kasutusel peamiselt põllumaadena, kus peamiselt kasvatatakse teraviljakultuure. *Mollisols* moodustab ligikaudu 6% mittepolaarsest

mandriosa pindalast. Enamasti leidub Euroopas, Aasias, Põhja-Ameerika jne. (Britannica 2017).

Chernozem-dele on iseloomulik huumuserikas ja mullaosakestega seotud kaltsiumiioonidega huumushorisont, mille tulemuseks on hästi agregeeritud mullastruktuur rohke loodusliku rohttaimestikuga. Need mullad esinevad kliimavöötmets, kus hooajaline sademete hulk on 450–600 mm aastas. Chernozem-mullad moodustavad 1,8% kogu mandriosa pindalast. (Britannica 2019).

Katses olnud muldade pH varieerus vahemikus 6,2–8,2. Allikates I, IV, V, VI polnud pH välja toodud. Lõimisteks olid raske liivsavi (Allikas I), savi (Allikas III), tolmjas kerge liivsavi (Allikas IV, VI), tolmjas savi (Allikas VII_a) ja kerge liivsavi (Allikas VII_b).

Katsete pikkused olid erinevad, varieerusid vahemikus 3 aastat kuni 114 aastani.

3.3 Mulla orgaanilise süsiniku ja labiilse süsiniku vahelised seosed

Uuritud katsete mulla C_{org} sisaldused varieerusid vahemikus 6,2–39,0 g kg⁻¹ (tabel 3). Kõige suurema osa (22,5%) kogu mulla C_{org} sisaldusest moodustas POXC sisaldus varieerudes vahemikus 1,1–5,6 g kg⁻¹. Kõige madalama kontsentratsiooniga oli C_{ex} varieerudes vahemikus 0,02–0,36 g kg⁻¹ moodustades mulla C_{org} sisaldusest 0,86%.

Tabel 3. Mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) ja erinevate labiilsete fraktsioonide näitajad ning labiilse fraktsiooni C osakaal C_{org} sisaldusest

Fraktsioon	Valimi suurus	Keskmine kontsentratsioon, g kg ⁻¹	Standardviga	Min	Max	Labiilse fraktsiooni C osakaal C_{org} sisaldusest, %
C_{org}	50	16,3	1,13	6,2	39	
POXC ¹	28	3,67	0,24	1,1	5,6	22,5
POC ²	26	2,29	0,31	0,8	5,8	14,0
LFOC ³	19	0,68	0,15	0,21	3,3	4,00
C_{ex} ⁴	46	0,14	0,02	0,02	0,36	0,86
MBC ⁵	40	0,29	0,02	0,12	0,69	1,80

¹kaaliumpermanganaadilahuses oksüdeeruv C; ²kerge fraktsiooni orgaaniline C; ³'hõljuv' orgaaniline C; ⁴veega ekstraheerunud C; ⁵mikroobse biomassi C.

Mulla C_{org} sisaldusega olid positiivselt seotud POXC ja POC sisaldused, teiste labiilsete fraktsioonide C sisaldused ei korreleerunud C_{org} sisaldusega (tabel 4). POXC oli negatiivselt seotud C_{ex} sisaldusega, POC oli positiivselt seotud C_{ex} ja MBC-ga, MBC oli positiivselt seotud LFOC ja POC-ga.

Tabel 4. Spearmani korrelatsioonid erinevate näitajate vahel (punasega märgitud väärtused näitavad statistiliselt usutavat ($p < 0,05$) seost)

	C_{org}^1	POXC ²	LFOC ³	POC ⁴	C_{ex}^5	MBC ⁶	C sisend
C_{org}^1	1,000	0,671	0,286	0,922	0,208	0,179	0,667
POXC ²	0,671	1,000	0,390	0,297	-0,429	-0,323	0,129
LFOC ³	0,286	0,390	1,000	0,134	0,230	0,887	0,376
POC ⁴	0,922	0,297	0,134	1,000	0,763	0,552	0,759
C_{ex}^5	0,208	-0,429	0,231	0,762	1,000	0,159	-0,432
MBC ⁶	0,179	-0,323	0,887	0,552	0,159	1,000	0,479
C sisend	0,667	0,129	0,376	0,759	-0,432	0,479	1,000

¹mulla orgaaniline süsinik; ²kaaliumpermanganaadilahuses oksüdeeruv C; ³kerge fraktsiooni orgaaniline C; ⁴‘hõljuv’ orgaaniline C; ⁵veega ekstraheerunud C; ⁶mikroobse biomassi C.

Üldiselt on leitud, et enamik uuritud MOA labiilsete fraktsioonide C sisaldused on omavahel ja C_{org} sisaldusega positiivses korrelatsioonis (Benbi *et al.*, 2015; Bongiorno *et al.*, 2019; Ma *et al.*, 2021). Ka antud töös kasutatud katsete põhiselt esinesid peamiselt positiivsed seosed erinevate C fraktsioonide vahel. Põhjus, miks katsete üleselt positiivsed seosed kõikide uuritud näitajate vahel puudusid, seisneb ilmselt andmebaasis olevate katsete mitmekesisusest (erinevad mullad, erinevad piirkonnad, ilmastikutingimused jne). Allikas III oli positiivne seos kõigi uuritud labiilsete fraktsioonide C sisalduste vahel (C_{org} , LFOC, POXC, MBC, C_{ex}). Allikas II oli POC, MBC ja C_{ex} positiivselt seotud C_{org} sisaldusega. Ma *et al.* (2021) uuringus oli mulla C_{org} sisaldus positiivselt seotud POC, LFOC ja POXC sisaldustega, kuid mitte C_{ex} ja MBC, mis on sarnane käesolevas töös leitud tulemustega (tabel 4). Ma *et al.* (2021) järeldasid oma uuringus, et mulla C_{org} akumulatsioon on peamiselt tingitud POC, LFOC, POXC kontsentratsioonide suurenemisest, mitte C_{ex} ja MBC sisaldustest. Selle võimalik põhjus võis olla see, et C_{ex} ja MBC olid mikroorganismide poolt kergemini lagundatud ja neil oli palju väiksem osakaal kogu C_{org} sisaldusest (Blair 2000, Haynes 2005 ref Ma *et al.*, 2021). Allikas II ja allikas III täheldati, et MBC ja C_{ex} olid aga omavahel positiivselt tugevalt korrelatsioonis.

C sisendi ja C_{org} , POC ja MBC sisalduste vahel esinesid usutavad seosed, kuid POXC, LFOC ja C_{ex} puhul seosed C sisendiga puudusid (tabel 4). Allika V puhul pandi tähele, et üldiselt mida suurem C sisend mulda, siis seda suurem on MBC sisaldus. Samas kehtib see kõigi teiste ka fraktsioonide puhul.

3.4 Väetamise mõju mulla C_{org} ja labiilsete fraktsioonide C sisaldustele

Saadud keskmiste tulemuste võrdlemisel tuleb arvestada, et katsetes olnud kontrollvariantide mulla C_{org} ja labiilsete fraktsioonide C sisaldused erinevate väetusvariantide keskmisena ei olnud omavahel võrreldavad. Näiteks katsetes, kus uuriti mineraalsete väetiste mõju mulla C_{org} ja labiilsete fraktsioonide C sisaldustele, erinesid kontrollvariandi keskmised näitajad nende näitajate kontrollvariandi näitajatest, kus uuriti orgaanilise väetise koos ja ilma mineraalväetisega mõju (tabel 5). Võrreldes väetamata variandiga (kontrollvariandiga) mineraalse väetisega väetamine suurendas mulla C_{org} sisaldust 0–33% (keskmiselt 8,6%), ühes katses (allikas VI) C_{org} sisaldus vähenes -2% (lisa 2). Orgaaniliste väetistega väetamine suurendas C_{org} sisaldust 0–235% (keskmiselt 48,3%) ning kombineerides mineraalväetisi koos orgaaniliste väetistega ning mulla C_{org} sisaldus suurenes 44–82% (keskmiselt 62%).

Orgaaniliste väetistega väetamine suurendas mulla C_{org} sisaldust (tabel 5), mida on leitud ka paljudes varasemates uurimustöodes (Blair *et al.*, 2006, Liu *et al.*, 2013). Orgaanilise väetisena kasutakse peamiselt sõnnikut (Ren *et al.*, 2014), mis on kõrge ligniini sisaldusega, mille tõttu on sõnnik lagunemisele vastupidavam suurendades mulla C_{org} sisaldust rohkem võrreldes näiteks põhuga, mis on madalama ligniinisaldusega (Paustian *et al.*, 1992; Blair *et al.*, 2006). Nii mineraalsete, kui orgaaniliste väetistega väetamine üldiselt suurendas labiilsete fraktsioonide C sisaldusi, ainult mineraalsete väetistega väetades suurenesid ainult POXC ja LFOC sisaldused, kuid C_{ex} , MBC ja POC sisaldused vähenesid (tabel 5). Kõige rohkem suurenesid labiilsete fraktsioonide C kontsentratsioonid orgaanilise väetisega väetamisel (tabel 5, tabel 6). Ka Blair *et al.* (2006) täheldasid, et sõnniku lisamine, taimejäätmete tagastamine ja mineraalse N väetise kasutamine suurendasid erinevaid mulla C fraktsioone, eriti labiilsemat fraktsiooni.

Tabel 5. Mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) ja labiilsete fraktsioonide C kontsentratsioonid sõltuvalt väetamisest ($g\ kg^{-1}$) (keskmine \pm standardviga)

Fraktsioon	Mineraalsete väetistega väetamine		Orgaanilise väetisega väetamine		Mineraalse ja orgaanilise väetisega väetamine	
	Kontroll	Väetus-variant	Kontroll	Väetus-variant	Kontroll	Väetus-variant
C_{org}^1	14,0 \pm 2,36	13,9 \pm 1,16	16,6 \pm 5,19	24,3 \pm 3,11	7,68 \pm 0,98	12,26 \pm 0,90
POXC ²	2,94 \pm 0,48	4,03 \pm 0,29	1,10	4,25 \pm 1,15	1,20 \pm 0,10	2,60 \pm 0,20
LFOC ³	0,44 \pm 0,08	0,58 \pm 0,20	0,30 \pm 0,03	0,50 \pm 0,12	0,33 \pm 0,07	1,80 \pm 1,5
POC ⁴	1,77 \pm 0,66	1,65 \pm 0,32	2,12 \pm 0,98	3,44 \pm 0,58	0,76 \pm 0,04	1,56 \pm 0,13
C_{ex}^5	0,13 \pm 0,04	0,09 \pm 0,02	0,18 \pm 0,06	0,25 \pm 0,03	0,09 \pm 0,02	0,17 \pm 0,03
MBC ⁶	0,34 \pm 0,07	0,25 \pm 0,02	0,29 \pm 0,13	0,30 \pm 0,04	0,26 \pm 0,10	0,36 \pm 0,08
C sisend	14,0 \pm 2,36	13,9 \pm 1,16	16,6 \pm 5,19	24,3 \pm 3,11	7,68 \pm 0,98	12,26 \pm 0,90

¹kaaliumpermanganaadilahuses oksüdeeruv C; ²kerge fraktsiooni orgaaniline C; ³'hõljuv' orgaaniline C;

⁴veega ekstraheerunud C; ⁵mikroobse biomassi C.

Saksamaal läbiviidud katse (allikas VII) viidi läbi kahel erineva lõimisega mullal (tolmjas savi ja kerge liivsavi). Mineraalsete ja orgaaniliste väetistega väetamine suurendas C_{org} sisaldust raskema lõimisega ja algselt suurema C_{org} sisaldusega (35,0 $g\ kg^{-1}$) mullas, kuid ei mõjutanud C_{org} sisaldust kergema lõimisega ja madalama C_{org} sisaldusega (19,0 $g\ kg^{-1}$) mullas (lisa 3). Erinev mõju võib osutada sellele, et kergema lõimisega muld on orgaanilise ainega küllastunud ega ei ole võimeline enam C mulda siduma (Castellano *et al.*, 2012). Sõltuvalt mulla tüübist, lõimisest ja niiskuse režiimist on igale mullale omane teatud C hoiuvõime, mis on seotud mulla savi- ja ibeosakeste sisaldusega (Kleber *et al.*, 2015 ref Kauer *et al.*, 2021). Mulda minev orgaaniline aine stabiliseerub saviosakestel, kuid stabiliseerumise efektiivsus väheneb, kui orgaanilise aine sidumiseks vaba pinda on savi- ja ibeosakestel vähe (Castellano *et al.*, 2012).

Väetamise järgselt oli kõige suurem POXC sisaldus Hiinas läbiviidud katses (allikas IV), kus POXC sisaldus suurenes võrreldes kontrollvariandiga umbes 5 korda topeltnormiga komposteeritud sõnnikuga väetamisel (lisa 3). Kõige väiksem POXC sisaldus (1,1 $g\ kg^{-1}$) oli sama katse kontrollvariandis (lisa 3). POXC sisaldus suurenes kõigi väetusvariantide puhul võrreldes kontrollvariandiga (tabel 5, tabel 6). Allikas V täheldati, et mida suurem jääkide tagastamine mulda, seda suurem oli teraviljasaak ja leiti, et mida suurem jääkide tagastamine mulda, seda suurem on POXC sisaldus ning jääkide tagastamine mulda suurendas märkimisväärselt C_{org} sisaldust.

Uuritud katsetes suurenes LFOC kontsentratsioon kõige rohkem Hiinas läbiviidud katses (allikas III) mineraalväetise + põhuga väetamisel, mille tulemusena LFOC kontsentratsioon suurenes peaaegu 8 korda võrreldes kontrollvariandiga (lisa 3). LFOC pärineb enamasti mulda viidud värskest orgaanilistest ainest (taimejäätmest vms.), mis on lagunemata või osaliselt lagunenud (Janzen *et al.*, 1992 ref Zhang *et al.*, 2020). Seega võib suur tagastatud taimejäätmete kogus suurendada mulla LFOC-d (Zhang *et al.*, 2020). Allikas III viidi mulda põhku ja LFOC sisaldus suurenes oluliselt, kuid näiteks allikas IV, kus sõnnikuga väetatud variantides viidi mulda kuni 16,3 t C ha⁻¹ (tabel 2), LFOC sisaldus ei suurenenud sellises ulatuses, mis näitab, et C sisendi mõju mulla labiilsele fraktsioonile sõltub mulda viidava orgaanilise aine koostisest. Põhk ja sõnnik on oma koostiselt erinevad, sisaldades erinevates kogustes erinevaid C ühendeid (Blair *et al.*, 2006; Paustian *et al.*, 1992), mille tõttu nende mõju MOA koostisele on erinev. Äramärkimist väärivad ka väga suured mineraalse N väetise kogused, mida Hiinas läbiviidud katsetes (allikad III ja IV) maisi ja talinisu väetamiseks kasutati (187,5–2 x 450 kg N ha⁻¹) (lisa 3). Eestis ja ka mujal maailmas väetatakse põllukultuure oluliselt väiksemate normidega. Eesti põllumajandustootjale suunatud trükise „Väetamise ABC“ järgi, mis on põllumehel väetusplaani koostamisel suureks abiks, tuleks talinisule anda sügisel mineraalväetisega olenevalt planeeritavast saagist ja mulla C_{org} sisaldusest vahemikus 30–175 kg N ha⁻¹ (Väetamise ABC, 2014). Maisile antakse samuti olenevalt mulla C_{org} sisaldusest ja planeeritavast saagist 125–155 kg N ha⁻¹. Mida suurem on mulla C_{org} sisaldus, seda väiksem on N väetise norm. Orgaaniliste väetiste kasutamisel tuleb Eestis järgida ka „Veeseadust“, mis sätestab, et sõnnikuga tohib anda hektari kohta 170 kg N ha⁻¹ ja 25 kg P ha⁻¹ aastas (viie aasta keskmisena).

Kõige suurem (5,80 g kg⁻¹) ja kõige väiksem (0,68 g kg⁻¹) POC sisaldus oli Hiinas läbiviidud erinevates katsetes (allikas IV ja II, vastavalt) (lisa 3). Kõige suurem POC sisaldus oli tingitud topeltnormiga (2x375 kg N ha⁻¹, 2x450 kg N ha⁻¹) komposteeritud veisesõnnikuga väetamisest ning kõige väiksem POC oli mineraalse N väetisega väetamisel (lisa 3). Üldiselt POC sisaldus mineraalsete väetistega väetades vähenes ja orgaaniliste väetistega väetades ilma või koos mineraalsete väetistega väetamise tagajärjel suurenes (tabel 5, tabel 6). Näiteks oli vähenemist märgata Kanadas läbiviidud katsetes (allikas VII_a ja VII_b), kus POC sisaldus vähenes NPK väetistega, kuid ka vähenes vedelsea- ja kanasõnnikuga väetamise tagajärjel (lisa 3).

C_{ex} ja MBC sisaldused olid võrreldes teiste labiilsete C sisaldustega on väiksemad. C_{ex} sisaldused keskmisena mineraalsete väetistega väetamise tagajärjel vähenesid, orgaaniliste väetistega väetamise tagajärjel suurenesid, kuid mineraalsed väetised koos orgaaniliste väetistega mõju neile ei avaldanud. C_{ex} sisaldus oli kõige suurem ($0,36 \text{ g kg}^{-1}$) Kanadas läbiviidud katses (allikas VIIa) vedelsea- ja vedelveisesõnnikuga väetamise variandis ning kõige väiksem C_{ex} sisaldus oli Hiinas läbiviidud katses (allikas VI) kontrollvariandis ($0,02 \text{ g kg}^{-1}$) ning mineraalse N ja mineraalsete väetiste variandis ($0,03 \text{ g kg}^{-1}$) (lisa 3).

MBC sisaldused keskmiselt mineraalsete väetistega väetamise tõttu vähenesid, orgaaniliste väetistega ja mineraalsed väetised koos orgaaniliste väetistega väetamine suurendasid MBC sisaldust (tabel 5, tabel 6, lisa 2). MBC sisaldus on kõige suurem Kanadas läbiviidud katse (allikas VIIa) kontrollvariandis ($0,69 \text{ g kg}^{-1}$) (lisa 3). Kõige väiksem sisaldus oli teises Kanada katses (allikas VIIb) vedelseasõnnikuga väetamisel ($0,12 \text{ g kg}^{-1}$) (lisa 3). Mõned teadlased on leidnud, et nii MBC kui ka C_{ex} sisaldus väheneb pärast mineraalse N väetisega väetamiselt (Zhang *et al.*, 2020), sest on leitud, et mineraalse N väetisel on mikroobide aktiivsust ja kasvu aeglustav mõju (Fog 1988 ref Hofmann *et al.*, 2009). Leitud on, et selle põhjuseks võib olla osmootsed potentsiaalid mulla lahuses, mis võivad muutuda mürgiseks tänu täiendavate ionide sissetoomisele väetise kaudu (Broadbent 1965 ref Treseder 2008). Sel moel siis võivad N lisandid otseselt prässida mikroobide kasvu (Treseder 2008). Samas leidub ka uuringuid, kus mineraalsete N väetiste kasutamine suurendas mikroobide aktiivsust (Maltas *et al.*, 2018). Kuid on leitud, et sõnnik parandab mikroobide biomassi moodustumist ja aktiivsust (Bhattacharyya *et al.*, 2008; Tejada *et al.*, 2008; Reeve *et al.*, 2010) rohkem kui mineraalsed väetised (Chu *et al.*, 2007). Zhu *et al.* (2020) täheldasid oma uuringus, et sõnnik, mida kasutati eraldi või koos mineraalsete väetistega, suurendas mulla viljakust ja mulla mikroobikoosluste funktsionaalset mitmekesisust ning tasakaalustatud N, P, K väetise kasutamine koos orgaanilise sõnnikuga oli mulla mikroobide koosluse kvaliteedi parendamiseks parem kui ainult ühe makroelemendiga mineraalväetise kasutamine. Juan *et al.* (2015) leidsid uuringus, et näiteks NPK, NPK+vedel seasõnnik, NPK+maisi koristusjäätmel väetiste kasutamine suurendas märkimisväärselt mulla mikroobikoosluse struktuuri. Kui orgaaniliste väetistega väetades labiilsed fraktsioonid suurenesid, siis osutab see sellele, et orgaanilise väetisega viiakse mulda materjali, mis sisaldab erinevaid C ühendeid ja mis avalduvad kõigis antud töös käsitletud fraktsioonides. Seega sõnnikuga viiakse mulda orgaanilist materjali, mis sisaldab nii vees ekstraheeruvaid

kui KMnO₄ lahuses oksüdeeruvaid ühendeid ning mis suurendavad MOA seda fraktsiooni, mis ei ole saviosakestega seotud.

Tabel 6. Väetamise mõjul mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) ja labiilsete fraktsioonide süsiniku kontsentratsioonide muutused (%) võrreldes väetamata variandiga (keskmine ± standardviga)

Fraktsioon	Mineraalsete väetistega väetamine	Orgaanilise väetisega väetamine	Mineraalse ja orgaanilise väetisega väetamine
	Väetusvariant	Väetusvariant	Väetusvariant
C _{org} ¹	8,7±2,4	48,3±23,7	62,0±5,5
POXC ²	34,9±9,6	286,4±104,5	116,8±1,4
LFOC ³	42,1±47,5	68,0±30,6	368,1±356,9
POC ⁴	30,6±14,8	109,4±71,4	107,9±9,6
C _{ex} ⁵	-4,6±6,8	39,8±21,9	77,9±27,1
MBC ⁶	-13,3±8,8	22,2±27,4	74,7±24,0

¹kaaliumpermanganaadilahuses oksüdeeruv C; ²kerge fraktsiooni orgaaniline C; ³'hõljuv' orgaaniline C; ⁴veega ekstraheerunud C; ⁵mikroobse biomassi C.

3.5 Väetamise mõju mulla labiilsusele ja majandamisindeksile

MOA labiilsuse näitaja L varieerus mineraalsete väetistega väetatud variantides sõltuvalt MOA labiilsest fraktsioonist vahemikus 0,01–0,46 (lisa 4), kõige labiilsem MOA oli POXC kaudu hinnatud mineraalsete väetistega väetatud variandis. Orgaaniliste väetistega ning mineraalsete ja orgaaniliste väetistega väetatud variantides oli L väiksem varieerudes vastavalt vahemikus 0,01–0,27 ning 0,01–0,23 (lisa 4). LFOC ja POC puhul oli kõige labiilsem MOA mineraalsete ja orgaaniliste väetistega väetatud variantides (tabel 7). Kõige väiksemad erinevused väetatud variantide vahel esinesid fraktsioonide C_{ex} ja MBC kaudu hinnatud labiilsuste puhul (tabel 7).

Tabel 7. Mulla orgaanilise aine labiilsused sõltuvalt labiilsest fraktsioonist ja väetamisest (keskmine \pm standardviga)

Fraktsioon	Mineraalsete väetistega väetamine	Orgaanilise väetisega väetamine	Mineraalse ja orgaanilise väetisega väetamine
	Väetusvariant	Väetusvariant	Väetusvariant
POXC ¹	0,43 \pm 0,03	0,27 \pm 0,02	0,24 \pm 0,00
LFOC ²	0,05 \pm 0,02	0,02 \pm 0,01	0,09 \pm 0,06
POC ³	0,14 \pm 0,01	0,17 \pm 0,02	0,16 \pm 0,01
C _{ex} ⁴	0,01 \pm 0,00	0,01 \pm 0,00	0,01 \pm 0,00
MBC ⁵	0,02 \pm 0,00	0,01 \pm 0,00	0,03 \pm 0,00

¹kaaliumpermanganaadilahuses oksüdeeruv C; ²kerge fraktsiooni orgaaniline C; ³'hõljuv' orgaaniline C; ⁴veega ekstraheerunud C; ⁵mikroobse biomassi C.

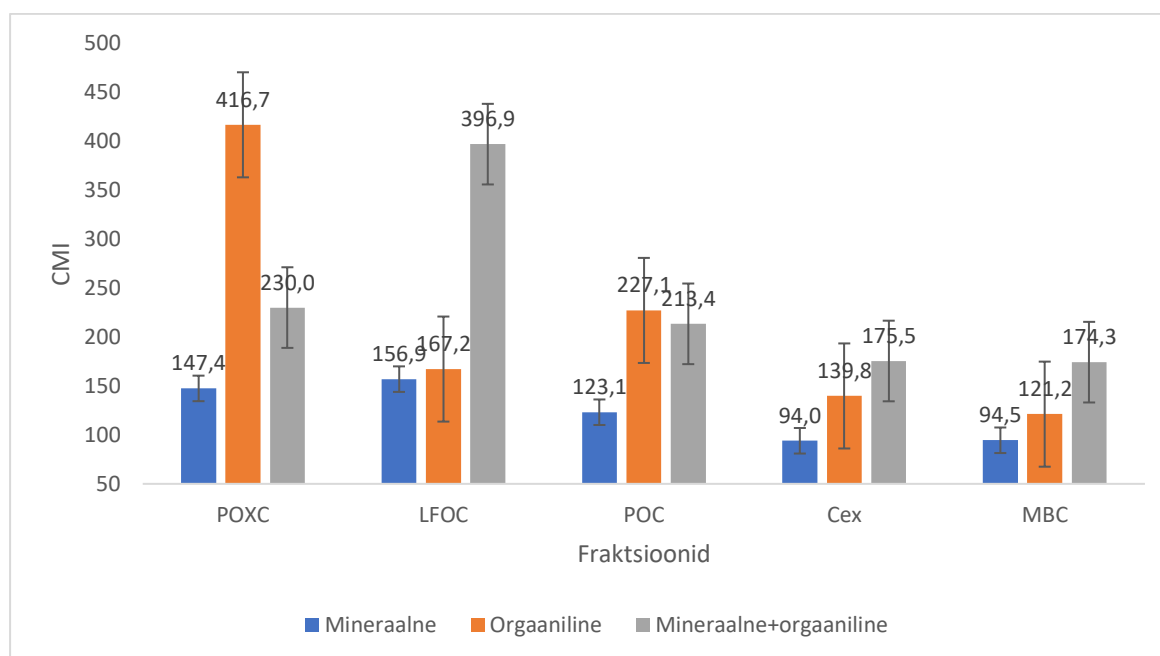
Mineraalsete väetistega väetamise tulemusena varieerus labiilsuse indeks LI vahemikus sõltuvalt fraktsioonist vahemikus 0,8–1,5 (tabel 8, lisa 5), mis näitab, et sõltuvalt labiilsuse hindamiseks kasutatud meetodist võib LI nii suureneda (LI>1) kui ka väheneda (LI<1). Kõige suurem väetamise mõju oli mineraalsete ja orgaaniliste väetiste kasutamise koosmõjul, kui LI hindamiseks kasutati LFOC fraktsiooni (tabel 8). POXC fraktsiooni puhul suurendas LI-d kõige rohkem orgaaniliste väetistega väetamine. C_{ex} ja MBC fraktsiooni kaudu leitud LI olid võrreldes teiste fraktsioonidega väiksemad või väetamine ei mõjutanud neid fraktsioone tunduvalt, mis näitab, et LI sõltub labiilsuse hindamiseks kasutatud fraktsioonist (tabel 8). Üldiselt LI järgib L-ga sarnast trendi, mis esines nii labiilsete fraktsioonide C sisalduste (tabel 5), kui ka labiilsuse näitajate (tabel 7) puhul, sest väetamise tulemusena LI suurenes nende näitajate puhul, kus väetamine suurendas labiilse fraktsiooni C sisaldust ja labiilsust. LI väärtus LFOC puhul oli orgaaniliste väetistega väetatud variandis alla 1 (0,9) (tabel 8) ehk MOA LI vähenes kuigi orgaaniliste väetistega väetamine suurendas LFOC sisaldust 68,0% võrreldes kontrolliga (tabel 6). Kui LI on väiksem kui 1, siis kontrollvariandi L on suurem kui väetatud variandi oma, seega LFOC puhul orgaaniliste väetiste lisamine vähendas MOA labiilsust. See on tingitud sellest, et orgaaniliste väetistega väetamisel suurenes lisaks LFOC sisaldusele ka MOA-ga seotud stabiilse fraktsiooni C sisaldus ja seda rohkem kui LFOC sisaldus, mistõttu LI väärtus jäi alla 1. Vahekorra sisendi omadustest ja mullas toimuvate protsessidest tingituna sõltub, milline on väetamise mõju LI-le.

Tabel 8. Mulla orgaanilise aine labiilsuse indeksid sõltuvalt labiilsest fraktsioonist ja väetamisest (keskmine \pm standardviga)

Fraktsioon	Mineraalsete väetistega väetamine	Orgaanilise väetisega väetamine	Mineraalse ja orgaanilise väetisega väetamine
	Väetusvariant	Väetusvariant	Väetusvariant
POXC ¹	1,3 \pm 0,11	1,5 \pm 0,10	1,4 \pm 0,05
LFOC ²	1,3 \pm 0,39	0,9 \pm 0,36	2,6 \pm 1,33
POC ³	1,2 \pm 0,12	1,3 \pm 0,19	1,2 \pm 0,66
C _{ex} ⁴	0,9 \pm 0,19	0,9 \pm 0,04	1,1 \pm 0,13
MBC ⁵	0,8 \pm 0,31	0,8 \pm 0,08	1,0 \pm 0,12

¹kaaliumpermanganaadilahuses oksüdeeruv C; ²kerge fraktsiooni orgaaniline C; ³'hõljuv' orgaaniline C; ⁴veega ekstraheerunud C; ⁵mikroobse biomassi C.

CMI varieerus mineraalsete väetistega väetamisel sõltuvalt fraktsioonist vahemikus 94,5–156,4 (joonis 1, lisa 6).



Joonis 1. Väetamise mõju süsiniku majandamise indeksile (CMI) sõltuvalt labiilse fraktsioonist (CMI) (veapiirid tähistavad standardviga) (Märkused: POXC - kaaliumpermanganaadilahuses oksüdeeruv C; LFOC - kerge fraktsiooni orgaaniline C; POC - 'hõljuv' orgaaniline C; C_{ex} - veega ekstraheerunud C; MBC - mikroobse biomassi C)

Kõige rohkem suurenes LFOC fraktsiooni kaudu leitud CMI mineraalsete ja orgaaniliste väetiste koosmõjul. C_{ex} ja MBC fraktsiooni kaudu leitud CMI mineraalsete väetiste puhul vähenes. Orgaaniliste väetistega väetamisel CMI varieerus vahemikus 121,2–416,7 sõltuvalt

fraktsioonist (joonis 1, lisa 6). Orgaaniliste väetistega väetamisel oli CMI kõige suurem, kui hindamiseks kasutati POXC fraktsiooni ja kõige väiksem MBC fraktsiooni kaudu hinnatuna. CMI mineraalsete väetistega väetamisel koos orgaaniliste väetistega varieerus vahemikus 174,3–396,9, kõige suurem oli CMI LFOC fraktsiooni kaudu hinnatuna ja kõige väiksem MBC fraktsiooni kaudu leitud (joonis 1, lisa 6). Mineraalsete väetistega väetamine suurendas CMI-d vähem võrreldes orgaanilise väetisega (ilma või koos mineraalse väetisega) väetamine (joonis 1). Üldiselt käituvad kõik antud töös käsitletud labiilsete fraktsioonide kaudu hinnatud CMI tulemused ühtemoodi: mineraalsete väetistega väetamine suurendab kõige vähem või vähendab (C_{ex} ja MBC) ja mineraalsed + orgaanilised väetised suurendavad kõige rohkem CMI-d, kuid väetamise mõju CMI-le sõltub ka labiilse fraktsiooni määramismeetodist. CMI oli kõige suurem variandis, kus väetamisest tingitud labiilse C sisaldus suurenes kõige rohkem (tabel 5) ja kus oli kõige suurem MOA labiilsuse indeks (tabel 8) ja suurem mulla C_{org} sisaldus. Mõlemad fraktsioonid on olulised, sest ühelt poolt tahetakse, et C püsiks mullas kaua, kuid teiselt poolt on labiilne fraktsioon mullas peamine toitainete allikas taimedele ja mikroobidele (Baldock, Skjemstad 2000; Chenu *et al.*, 2019). CMI erinevus L ja Li-st seisneb selles, et arvestab muutusi nii mulla labiilses, kui stabiilses fraktsioonis. Kui väetamise tõttu väheneb mulla C_{org} või labiilse C sisaldus, siis väheneb CMI. Mida suurem on CMI, seda suurem mõju on väetamisel olnud ja seda parema kvaliteediga mulla orgaaniline aine on, sest on suurenenud nii stabiilne kui ka labiilne fraktsioon mullas. Yuan *et al.* (2021) täheldasid oma uuringus, et CMI oli märkimisväärselt seotud MOA-ga, LFOC, MBC, POC ja C_{ex} sisaldustega ning väetamine (K väetis) ja põhu tagastamine põllule mitte ainult ei suurendanud mulla C_{org} sisaldust, vaid ka muutis CMI-d, mõjutades mulla labiilse fraktsiooni. Samuti Gong *et al.* (2009) uuringus kinnitas statistiline analüüs mulla erinevate C fraktsioonide ja CMI vahel positiivseid seoseid ning CMI oli kõrgem orgaanilise väetisega väetades võrreldes mineraalse väetisega väetades. Ma *et al.* (2021) uuringus oli mulla C_{org} sisaldus positiivselt seotud CMI-ga. Kõrge CMI võib viidata sellele, et mulla erinevatel majandamisvõtetel on potentsiaal soodustada mulla C varu suurenemist (Ma *et al.*, 2021).

KOKKUVÕTE

MOA koostis jagatakse peamiselt kaheks fraktsiooniks, milleks on labiilne ja stabiilne fraktsioon. Labiilse fraktsiooni muutuseid mõjutavad välised tegurid kiiremini võrreldes kogu MOA-ga, seetõttu kasutatakse antud fraktsiooni hindamiseks erinevate harimisvõtete (sh. väetamine) mõju MOA koostisele. Töö eesmärgiks oli uurida väetamise mõju MOA labiilsele fraktsioonile ja hinnata väetamise mõju CMI-le, mis kirjeldab mulla kvaliteeti kombineerides nii kogu MOA-s, kui MOA labiilses fraktsioonis toimunud muutused ühe näitaja alla. Antud töös täheldati, et kõige suurem osa C_{org} sisaldusest moodustab POXC (22,5%) ja kõige väiksema osa C_{ex} (0,86%).

Orgaaniliste väetistega väetamisel suurenesid C_{org} ja labiilsete C sisaldused rohkem võrreldes mineraalsete väetistega väetamisel. Kõige rohkem suurenes orgaaniliste väetistega väetamisel POXC fraktsioon. Mineraalsed väetised koos orgaaniliste väetistega suurendasid kõige rohkem LFOC fraktsiooni. Mineraalsete väetistega väetamine vähendas nii C_{ex} kui ka MBC sisaldust, teiste fraktsioonide puhul mineraalsete väetiste mõju jäi väiksemaks võrreldes orgaaniliste väetistega.

Väetamise mõju CMI-le sõltus labiilsuse hindamiseks kasutatud fraktsioonist ning kõige sobivamaks meetodiks CMI hindamiseks sobisid POXC ja LFOC. POXC kaudu hinnatuna oli CMI kõige suurem orgaaniliste väetistega väetamisel, kuid LFOC kaudu hinnatuna suurenes CMI orgaaniliste ja mineraalsete väetiste koosmõju. Üldiselt käitusid kõik erinevate fraktsioonide kaudu hinnatud CMI tulemused ühtemoodi ehk mineraalne väetamine suurendas kõige vähem või vähendas CMI sisaldust ja orgaaniline väetis ilma või koos mineraalse väetisega suurendasid kõige rohkem CMI-d. CMI oli kõige suurem selles variandis, kus väetamise tõttu labiilse C sisaldus suurenes ja kus oli kõige suurem MOA labiilsuse indeks.

Töös püstitatud hüpotees leidis osaliselt kinnitust, sest väetamine mõjutas MOA labiilsust, kuid väetamise mõju CMI-le sõltus labiilsest fraktsioonist ja väetiste omadustest (mineraalne või orgaaniline väetis). POXC, LFOC ja POC kaudu hinnatud CMI-d suurenes nii mineraalsete kui orgaaniliste väetiste puhul, kuid C_{ex} ja MBC kaudu hinnatud CMI-d vähenes, kui väetamiseks kasutati ainult mineraalseid väetisi.

CMI arvestab muutusi nii mulla labiilses, kui ka stabiilses fraktsioonis. Kui väetamise tõttu vähenes mulla C_{org} või labiilse C sisaldus, siis vähenes ka väetamise mõju CMI-le. Mida suurem oli CMI, seda suurem mõju on väetamisel olnud ja seda parema kvaliteediga MOA oli, sest suurenes nii stabiilne kui ka labiilne fraktsioon mullas. Mõlemad fraktsioonid on olulised, kuna labiilne fraktsioon on peamine toitainete allikas taimedele ja stabiilne fraktsioon hoiab C-d kauem kinni mullas.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Astover, A., Kõlli, R., Roostalu, H., Reintam, E., Leedu, E. (2012). Mullateadus. Õpik kõrgkoolidele. Tartu: Eesti Maaülikool. 486 lk.
- Bahadori, M., Chen, C., Lewis, S., Boyd, S., Rashti, R. M., Esfandbod, M., Garzon-Garcia, A., Zwieten, V. L., Kuzyakov, Y. (2021). Soil organic matter formation is controlled by the chemistry and bioavailability of organic carbon inputs across different land uses. – *Science of The Total Environment*, Vol. 770, pp. 1–10.
- Baldock, J.A., Skjemstad, J.O. (2000). Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. – *Organic Geochemistry*, Vol. 31 (7–8), pp. 697–710.
- Bei, S., Zhang, Y., Li, T., Christie, P., Li, X., Zhang, J. (2018). Response of the soil microbial community to different fertilizer inputs in a wheat-maize rotation on a calcareous soil. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 260, pp. 58–69.
- Benbi, K. D., Brar, K. Toor, S. A., Sharma, S. (2015). Sensitivity of labile soil organic carbon pools to long-term fertilizer, straw and manure management in rice-wheat system. – *Pedosphere*. Vol. 25, (4), pp. 534–545.
- Berti, A., Morari, F., Ferro, D. N., Simonetti, G., Polese, R. (2016). Organic input quality is more important than its quantity: C turnover coefficients in different cropping systems. – *European Journal of Agronomy*, Vol. 77, pp. 138–145.
- Bhattacharyya, R., Kundu, S., Prakash, V., Gupta, S. H. (2008). Sustainability Under combined application of mineral and organic fertilizers in a rainfed soybean-wheat system of the Indian Himalayas. – *European Journal of Agronomy*, Vol. 28 (1), pp. 33–46.
- *Bhogal, A., Young, D. S., Sylvester-Bradley, R., O'Donnell, M. F., Ralph, B. R. (1997). Cumulative effects of nitrogen application to winter wheat at Ropsley, UK, from 1978 to 1990. – *Journal of Agricultural Science*, Vol. 129, 1–12, viidatud Fageria, K. N. (2012). Role of Soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems. – *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol. 43, (16), pp. 2063–2113 vahendusel.
- Blair, J. G., Lefroy, B. D. R., Lisle, L. (1995). Soil carbon fractions, based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. – *Australian Journal of Agricultural Research*. Vol. 45, No. 7, pp. 1–16.
- *Blair, N. (2000). Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. – *Soil and Tillage*

- Research*, Vol. 55, (3–4), pp. 183–191, viidatud: Ma, L., Lv, X., Cao, N., Wang, Z., Zhou, Z., Meng, Y. (2021). Alterations of soil labile organic carbon fractions and biological properties Under different residue-management methods with equivalent carbon input. – *Applied Soil Ecology*, Vol. 161, 103821 vahendusel.
- Blair, N., Faulkner, D. R., Till, R. A., Poulton, R. P.** (2006). Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility: Part I: Broadbalk experiment. – *Soil and Tillage Research*, Vol 91 (1-2), pp. 30–38.
- Bolan, N. S., Adriano, D. C., Kunhikrishnan, A., James, T., McDowell, R., Senesi, N.** (2011). Dissolved Organic Matter: Biogeochemistry, Dynamics, and Environmental Significance in Soils. – *Advances in Agronomy*, Vol. 110, pp. 1–75.
- *Bolinder, A. M., Angers, A. D., Gregorich, G. E., Carter, R. M.** (1999). The response of soil quality indicators to conservation management. – *Canadian Journal of Soil Science*, Vol. 79, 37–45, viidatud: Banger, K., Toor, S. G., Biswas, A., Sidhu, S. S., Sudhir, K. (2010). Soil organic carbon fractions after 16 years of applications of fertilizers and organic manure in a Typic Rhodalfs in semi-arid tropics. – *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 86, pp. 392 vahendusel.
- Bongiorno, G., Bünemann, K. E., Oquejiofor, U. C., Meier, J., Gort, G., Comans, R., Mäder, P., Brussaard, L., Goede, de R.** (2019). Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. – *Ecological Indicators*, Vol. 99, pp. 38–50.
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia (2012). *Inceptisol. Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/Inceptisol> (17.05.2021).
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia (2016). *Acrisol. Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/Acrisol>. (23.04.2021).
- Britannica. The Editors of Encyclopaedia (2017). *Mollisol. Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/Mollisol>. (17.05.2021).
- Britannica. The Editors of Encyclopaedia (2018). *Vertisol. Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/Vertisol-FAO-soil-group> (17.05.2021)
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia (2019). *Chernozem. Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/Chernozem-FAO-soil-group>. (12.05.2021).
- *Broadbent, F. E.** (1965). Effects of fertilizer nitrogen on the release of soil nitrogen. – *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 29 (6), pp 692–696, viidatud: Treseder, K. K. (2008). Nitrogen additions and microbial biomass: a meta-analysis of ecosystems studies. – *Ecology Letters*, Vol. 11 (10), pp. 1111 vahendusel
- *Castellano, J. M., Kaye, P. J., Lin, H., Schmidt, P. J.** (2012). Linking Carbon Saturation Concepts to Nitrogen Saturation and Retention. – *Ecosystems*, Vol. 15, pp. 175–187, viidatud: Kauer, K.,

- Pärnpuu, S., Talgre, L., Eremeev, V., Luik, A. (2021). Mulla orgaanilise aine kootsist sõltuvalt viljelusviisist. – *Agronomia 2021*. /I. Tupits, Ü. Tamm, S. Tamm, A. Toe, E. Vanamb. Jõgeva: Vali Press, lk 37.
- Chenu, C., Angers, D.A., Barré, P., Derrien, D., Arrouays, D., Balesdent, J.** (2019). Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. – *Soil and Tillage Research*, Vol. 188, pp. 41–52.
- Chu, H., Lin, X., Fujii, T., Morimoto, S., Yagi, K., Hu, J., Zhang, J.** (2007). Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. – *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 39 (11), pp. 2971–2976.
- Cotrufo, M. F., Ranalli, M. G., Haddix, M. L., Six, J., Lugato, E.** (2019). Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. – *Nature Geoscience*, Vol. 12 (12), pp 989–994.
- Conant, T. R., Six, J., Paustian, K.** (2004). Land use effects on soil carbon fractions in the southeastern United States. II. Changes in soil carbon fractions along a forest to pasture chronosequence. – *Biology and Fertility of Soils*, Vol. 40, pp. 194–200.
- Dhanker, R., Chaudhary, S., Goyal, S., Kumar, R.** (2020) Soil microbial properties and functional diversity in response to sewage sludge amendments. – *Archives of Agronomy and Soil Science*, DOI: [10.1080/03650340.2020.1855328](https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1855328)
- Ding, X., Han, X., Liang, Y., Qiao, Y., Li, L., Li, N.** (2012). Changes in soil organic carbon pools after 10 year of continuous manuring combined with chemical fertilizer in a Mollisol in China. – *Soil and Tillage Research*, Vol. 122, pp. 36–41.
- *Doran, J. W., Jones, J. A., Arshad, A. M., Gilley, E. J.** (1999). Determinants of soil quality and health. pp. 17–36. In R. Lal (ed). Soil quality and soil erosion. Lewis Publ., Boca Raton, FL, viidatud McLaughlan, K. K., Hobbie, E. S. (2004). Comprasion of labile soil organic matter fractionation techniques. – *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 68 (5), pp 1616 vahendusel.
- Duan, Y., Chen, L., Zhang, J., Li, D., Han, X., Zhu, B., Li, Y., Zhao, B., Huang, P.** (2020). Long-term fertilisation reveals close associations between soil organic carbon composition and microbial traits at aggregate scales. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 306, pp. 1–11
- Edmeades, C. D.** (2003). The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review. – *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 66, pp. 165-180.
- Fageria, K. N.** (2012). Role of Soil Organic Matter in Maintaining Sustainability of Cropping Systems. – *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol. 43, (16), pp. 2063–2113.
- *Fog, K.** (1988). The effects of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter. – *Biological Reviews*, Vol. 63 (3), pp. 433–462, viidatud: Hofmann, A., Heim, A., Gioacchini, P.,

- Miltner, A., Gehre, M., Schmidt, I. W. M. (2009). Mineral fertilization did not affect decay of old lignin and SOC in a C-labeled arable soil over 36 years. – *Biogeosciences*, Vol. 6 (7), pp. 1139–1148 vahendusel.
- Follet, R. F., Samson-Liebig, S. E., Kimble, J. M., Pruessner, E. G., Waltman, S. W.** (2001). Carbon sequestration Under the Conservation Reserve Program in the historic grassland soils of the United States of America. – *Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect*, ed. R. Lal, pp. 27–40. Soil Science Society of America Special Publication 57. Madison, WI: Soil Science Society of America.
- Gentile, R. M., Malepfane, N. M., van den Dijssel, C., Arnold, N., Liu, J., Müller, K.** (2020). Comparing deep soil organic carbon stock Under kiwifruit and pasture land uses in New Zealand. – *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 306, pp. 1–8.
- Geraei, S. D., Hojati, S., Landi, A., Cano, F. A.** (2016). Total and labile form of soil organic carbon as affected by land use change in southwestern Iran. – *Geoderma Regional*, Vol. 7 (1), pp. 29–37.
- *Glendining, M. J., Powlson, D. S.** (1995). The effects of long continued application of inorganic nitrogen fertilizer on soil organic nitrogen. – A review. In „Soil Management: Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality“. CRC Press, Boca Raton: R. Lal and B. A. Stewart. pp. 385–446, viidatud: Johnston, E. A., Poulton, R. P., Coleman, K. (2009) Chapter 1 Soil Organic Matter: Its Importance in Sustainable Agriculture and Carbon Dioxide Fluxes. – *Advances in Agronomy*, Vol. 101, pp. 10 vahendusel.
- Gong, W., Yan, X., Wang, J., Hu, Ting., Gong, Y.** (2009). Long-term manuring and fertilization effects on soil organic carbon pools Under a wheat-maize cropping system in North China Plain. – *Plant and Soil*, Vol. 314, pp. 67–76.
- Hagedorn, F., Spinnler, D., Siegwolf, R.** (2003). Increased N deposition retards mineralization of old soil organic matter. – *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 35 (12), pp. 1683–1692.
- Haynes, J. R.** (2000). Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. – *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 32 (2), pp 211–219.
- Haynes, R.J.** (2005). Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An overview. In: Sparks, D.L. (Ed.). *Advances in Agronomy*, Vol. 85, 221–268.
- *Haynes, J. R.** (2005). Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils: An Overview. – *Advances in Agronomy*, Vol. 85, pp. 221–268, viidatud Ma, L., Lv, X., Cao, N., Wang, Z., Zhou, Z., Meng, Y. (2021). Alterations of soil labile organic carbon fractions and biological properties under different residue-management methods with equivalent carbon input. – *Applied Soil Ecology*, Vol. 161, 103821 vahendusel.

- *Heenan, D. P., McGhie, J. W., Thompson, M. F., Chan, Y. K.** (1995). Decline in soil organic carbon and total nitrogen in relation to tillage, stubble management, and rotations. – *Australian Journal of Experimental Agriculture*, Vol. 35, (7), pp. 877–884, viidatud: Fageria, K. N. (2012).. – *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol. 43, (16), pp. 2063–2113 vahendusel.
- Hirsch, R. P., Mauchline, H. T.** (2015). Chapter Two – The importance of the microbial N cycle in soil for crop plant nutrition. – *Advances in Applied Microbiology*, Vol. 93, pp. 45–71.
- Huang, S., Peng, X., Huang, Q., Zhang, W.** (2010). Soil aggregation and organic carbon fractions affected by long-term fertilization in red soil of subtropical China. – *Geoderma*, Vol. 154 (3-4), pp 364–369.
- *Janzen, H., Campbell, C., Brandt, S. A., Lafond, G., Townely-Smith, L.** (1992). Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. – *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 56, pp 1799–1806, viidatud: Zhang, L., Chen, X., Xu, Y., Jin, M., Ye, X., Gao, H., Chu, W., Mao, J., Thompson, L. M. (2020). Soil labile organic carbon fractions and soil enzyme activities after 10 years of continuous fertilization an wheat residue incorporation. – *Scientific reports*, Vol. 10, No.11318, 1-10 vahendusel.
- Jastrow, D. J., Amonette, E. J., Bailey, L. V.** (2007). Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. – *Climatic Change*, Vol. 80, pp. 5–23.
- *Jiang, G., Xu, M., He, X., Zhang, W., Huang, S., Yang, X., Liu, H., Peng, C., Shirato, Y., Iizumi, T., Wang, J., Murphy, DV.** (2014). Soil organic carbon sequestration in upland soils of Northern China Under variable fertilizer management and climate change scenarios. – *Global Biogeochem Cycles*, Vol. 28 (3), pp. 319–333, viidatud: Lu, X. (2020). Fertilizer Types Affect Soil Organic Carbon Content and Crop Production: A Meta-analysis. – *Agricultural Research*, Vol. 4, pp. 94–101 vahendusel.
- Johnston, E. A., Poulton, R. P., Coleman, K.** (2009). Chapter 1 Soil Organic Matter: Its Importance in Sustainable Agriculture and Carbon Dioxide Fluxes. - *Advances in Agronomy*, Vol. 101, pp. 1–57.
- Li, J., Li, Y., Yang, X., Zhang, J., Lin, Z., Zhao, B.** (2015). Microbial community structure and functional metabolic diversity are Associated with organic carbon availability in an agricultural soil. – *Journal of Integrative Agriculture*, Vol. 14 (12), pp. 2500–2511.
- Karabcova, H., Pospíšilova, L., Fiala, K., Škarpa, P., Bjelkova, M.** (2015). Effect of organic fertilizers on soil organic carbon and risk trace elements content in soil under permanent grassland. - *Soil and Water Research*, Vol. 4, pp. 228–235.
- *Karlen, D. L., Gardner, C. J., Rosek, J. M.** (1998). A soil quality framework for evaluating the impact of CRP. *Journal of Production Agriculture*,. Vol. 11 (1), pp. 56–60, viidatud

- McLauchlan, K. K., Hobbie, E. S. (2004). Comparison of labile soil organic matter fractionation techniques. – *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 68, pp. 1616-1625 vahendusel.
- Kauer, K., Tein, B., Sanches de Cima, D., Talgre, L., Eremeev, V., Loit, E., Luik, A.** (2015). Soil carbon Dynamics estimation and dependence on farming system in temperate climate. – *Soil & Tillage Research*, Vol. 154, pp. 53-63.
- Kauer, K., Astover, A., Viiralt, R., Raave, H., Kätterer, T.** (2019). Evolution of soil organic carbon in carbonaceous glacial till as an effect of crop and fertility management over 50 years in field experiment. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol 283, 106562.
- *Kleber, M., Eusterhues, K., Keiluweit, M., Mikutta, C.** (2015). Chapet One - Mineral-Organic Associations: Formation, Properties, and Relevance in Soil Environments. – *Advances in Agronomy*, Vol. 130, pp. 1–140, viidatud Kauer, K., Pärnpuu, S., Talgre, L., Eremeev, V., Luik, A. (2021). Mulla orgaanilise aine koostisist sõltuvalt viljelusviisist. – *Agronomia 2021. /I.* Tupits, Ü. Tamm, S. Tamm, A. Toe, E. Vanamb. Jõgeva: Vali Press, lk 34 vahendusel.
- Kong, X., Lal, R., Li, B., Liu, H., Li, K., Feng, G., Zhang, Q., Zhang, B.** (2014). Chapter Four - Fertilizer Intensification and Its Impacts in China's High Plains. – *Advances in Agronomy*, Vol. 125, pp. 135–169.
- Lal, R.** (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. – *Geoderma*, Vol. 123 (1-2), pp. 1–22.
- *Lal, R.** (2009). Challenges and opportunities in soil organic matter research. – *European Journal of Soil Science*, Vol. 60 (2), pp. 158–169, viidatud: Lu, X. (2020). Fertilizer Types Affect Soil Organic Carbon Content and Crop Production: A Meta-analysis. – *Agricultural Research*, Vol. 9 (8), pp. 94–101 vahendusel.
- Li, J., Wen, Y., Li, X., Li, Y., Yang, X., Lin, Z., Song, Z., Cooper, M. J., Zhao, B.** (2018). Soil labile organic carbon fractions and soil organic carbon stocks as affected by long-term organic and mineral fertilization regimes in the North China Plain. – *Soil & Tillage Research*, Vol. 175, pp. 281–290
- Liu, E., Yan, C., Mei, X., Zhang, Y., Fan, T.** (2013). Long-term effect of manure and fertilizer on soil organic carbon pools in dryland farming in Northwest China. – *PlosOne*, Vol. 8, pp. 1–9.
- Ma, L., Lv, X., Cao, N., Wang, Z., Zhou, Z., Meng, Y.** (2021). Alterations of soil labile organic carbon fractions and biological properties Under different residue-management methods with equivalent carbon input. – *Applied Soil Ecology*, Vol. 161, pp. 1–9.
- Magdoff, F., Weil, R., R.** (2004). Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press, Boca Raton. pp. 412.
- Malobane, E. M., Nciizah, D. A., Mudau, N. F., Wakindiki, C. I. I.** (2020). Soil organic carbon and labile carbon pools attributed by tillage, crop residue and crop rotation management in sweet sorghum cropping system. – *Sustainability*, Vol. 12, (22), pp. 1–10.

- Maltas, A., Kebli, H., Oberholzer, R. H., Weisskopf, P., Sinaj, S.** (2018). The effects of organic and mineral fertilizers on carbon sequestration, soil properties, and crop yields from a long-term field experiment Under a Swiss conventional farming system. – *Land Degradation & Development*, Vol. 29 (4), pp 926–938.
- McLauchlan, K. K., Hobbie, E. S.** (2004). Comparison of labile soil organic matter fractionation techniques. – *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 68, (5), pp. 1616–1625.
- Meek, B. D., Chesworth, W., Spaargaren, O.** (2008). Regosols. In: Chesworth W. (eds) *Encyclopedia of Soil Science*. Encyclodia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3995-9_479
- Pajares, S., Gallardo, F. J., Masciandaro, G., Ceccanti, B., Etchevers, D. J.** (2011). Enzyme activity as an indicator of soil quality changes in degraded cultivated *Acrisols* in the Mexican Trans-volcanic Belt. – *Land Degradation & Development*, Vol. 22 (3), pp. 373–381.
- Paustian, K., Parton, J. W., Persson, J.** (1992). Modelling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long-term plots. – *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 56 (2), pp. 476–488.
- *Paustian, K., Andren, O., Janzen, H. H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiesse, H., Van Noordwijk, M., Woomer, P. L.** (1997). Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. – *Soil Use and Management*, Vol. 13, (s4), pp. 230–244, viidatud: Piccolo, A., Spaccini, R., Nieder, R., Richter, J. (2004). Sequestration of a biologically labile organic carbon in soils by humified organic matter. – *Climatic Change*, Vol. 67, pp. 329 vahendusel.
- Poeplau, C., Reiter, L., Berti, A., Kätterer, T.** (2017). Qualitative and quantitative response of soil organic carbon to 40 years of crop residue incorporation Under contrasting nitrogen fertilisation regimes. – *Soil Research*, Vol. 55 (1), pp. 1–9.
- Poeplau, C., Don, A., Six, J., Kaiser, M., Benbi, D., Chenu, C., Cotrufo, F. M., Derrien, D., Gioacchini, P., Grand, S., Gregorich, E., Griepentrog, M., Gunina, A., Haddix, M., Kuzyakov, Y., Kühnel, A., Macdonald, M. L., Soong, J., Nieder, R.** (2018). Isolating organic carbon fractions with varying turnover rates in temperate agricultural soils – A comprehensive method comparison. – *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 125, pp. 10–26.
- Oleszczuk, P., Josko, I., Futa, B., Pasieczna-Patkowska, S., Palys, E., Kraska, P.** (2014). Effect of pesticides on microorganisms, enzymatic activity and plant in biocharamended soil. – *Geoderma*, Vol. 214-215, pp. 10–18.
- Osat, M., Heidari, A.** (2010). Soil organic matter fractionation. – *Geophysical Research Abstracts*, Vol 12: EGU General Assembly 2010. Vienna: European Geosciences Union, (EGU2010-12699).

- Quanying, W., Yang, W., Qicun, W., Jingshuang, L.** (2014). Impacts of 9 years of a new conservational agricultural management on soil organic carbon fractions. – *Soil & Tillage Research*, Vol. 143, pp. 1–6.
- Ramesh, T., Bolan, S. N., Kirkham, B. M., Wijesekara, H., Kanchikerimath, M., Rao, S. C., Sandeep, S., Rinklebe, J., Ok, S. Y., Choudhury, U. B., Wang, H., Tang, C., Wang, X., Song, Z., Freeman, W. O.** (2019). Chapter one – Soil organic carbon Dynamics: Impact of land use changes and management practices: A review. – *Advances in Agronomy*, Vol. 156, pp. 1–107.
- Reeve, R. J., Schadt, W. C., Carpenter-Boggs, L., Kang, S., Zhou, J., Reganold, P. J.** (2010). Effects of soil type and farm management on soil ecological functional genes and microbial activities. – *The ISME Journal*, Vol. 4, pp. 1099–1107.
- Reeves, W., D.** (1997). The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. – *Soil & Tillage Research*, Vol. 43 (1-2), pp. 131–167.
- Rong, Y., Yong-Zhong, S., Tao, W., Qin, Y.** (2016). Effect of chemical and organic fertilization on soil carbon and nitrogen accumulation in a newly cultivated farmland. – *Journal of Integrative Agriculture*, Vol. 15, (3), pp. 658–666.
- Shen, X., Wang, L., Yang, Q., Xiu, W., Li, G., Zhao, J., Zhang, G.** (2021). Dynamics of soil organic carbon and labile carbon fractions in soil aggregates affected by different tillage managements. – *Sustainability*, Vol. 13, (3), pp. 1–11.
- Silveira, L. M., Comerford, B. N., Reddy, R. K., Cooper, T. W., El-Rifai, H.** (2008). Characterization of soil organic carbon pools by acid hydrolysis. – *Geoderma*, Vol. 144 (1-2), pp. 405–414.
- *Stevenson, J. F.** (1994). *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. 2nd Edition. New York. John Wiley. pp. 512, viidatud: Banger, K. Toor, S. G., Biswas, A., Sidhu, S. S., Sudhir, K. (2010). Soil organic carbon fractions after 16-years of applications of fertilizers and organic manure in a Typic Rhodalfs in semi-arid tropics. – *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 86, pp. 392 vahendusel.
- Stockmann, U., Adams, A. M., Crawford, W. J., Field, J. D., Henakaarchchi, N., Jenkins, E. M., Minasny, B., McBratney, B. A., de Remy de Courcelles, V., Singh, K., Wheeler, I., Abbott, K. L., Angers, D., Baldock, A. J., Bird, M., Brookes, C. P., Chenu, C., Jastrow, D. J., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A., Parton, J. W., Whitehead, D., Zimmermann, M.** (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 164, pp. 80–99.
- Swanston, C., Homann, S. P., Caldwell, A. B., Myrold, D. D., Ganio, L., Sollins, P.** (2004). Long-term effects of elevated nitrogen on forest soil organic matter stability. – *Biogeochemistry*, Vol. 70, pp. 229–252.

- Tammik, K., Kauer, K., Astover, A., Penu, P.** (2018). Eesti põllumuldade süsinikuvaru dünaamika aastatel 1983-2016. – *Agronoomia /Koost. Maarika Alaru. Saku: Rebellis AS*, lk 30–35.
- Tejada, M., Gonzalez, L. J., Garcia-Martinez, M. A., Parrado, J.** (2008). Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. – *Bioresource Thenology*, Vol. 99 (6), pp. 1758–1767.
- *Theng, B. K. G., Tate, R. K., Sollins, P.** (1989). Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. – *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu, Hawaii: ed D.C. Coleman et al., pp. 5–31, viidatud: Tirol-Padre, A., Ladha, K. J. (2004). Assessing the reliability of permanent – oxidizable carbon as an index of soil labile carbon. – *Soil Science Society of American Journal*, Vol. 68, (3), pp. 969 vahendusel.
- Tirol-Padre, A., Ladha, K. J.** (2004). Assessing the reliability of permanent - oxidizable carbon as an index of soil labile carbon. – *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 68, (3), pp. 969–978.
- Veeseadus.** (vastu võetud 30.01.2019, viimati jõustunud 01.10.2019). – *Riigi Teataja*
<https://www.riigiteataja.ee/akt/110122020036> (24.03.2021)
- Vieira, B. C. F., Bayer, C., Zanatta, A. J., Dieckow, J., Mielniczuk, J., He, L. Z.** (2007). Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol Under long-term no-till cropping systems. – *Soil & Tillage Research*, Vol. 96 (1-2), pp. 195–204.
- Väetamise ABC.** (2014). Põllumajandusuuringute Keskus, toimetaja J.Kanger. 27 lk.
- *Weil, R. R., Islam, R. K., Stine, A. M., Gruver, B. J., Samson-Liebig, E. S.** (2003). Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. – *American Journal of Alternative Agriculture*, Vol. 18, pp. 3–7, viidatud: Pärnpuu, S. 2019. Mulla orgaanilise aine koostis sõltuvalt mullaliigist ja väetamisest. Magistritöö. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut. Tartu. lk 52 vahendusel.
- Zhang, G., Cao, Z. Hu, C.** (2011). Soil organic carbon fractionation methods and their applications in farmland ecosystem research: a review. – *The Journal of Applied Ecology*, Vol. 22, No. 7, pp.1921–1930.
- Zhang, L., Chen, X. Xu, Y., Jin, M., Ye, X., Gao, H., Chu, W., Mao, J., Thompson, L. M.** (2020). Soil labile organic carbon fractions and soil enzyme activities after 10 years of continuous fertilization and wheat residue incorporation. – *Scientific reports*, Vol. 10, No. 11318, pp. 1–10.
- Zhou, J., Wen, Y., Shi, L., Marshall, R. M., Kuzyakov, Y., Blagodatskaya, E., Znag, H.** (2020). Strong priming of soil organic matter induced by frequent input of labile carbon. – *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 152, pp. 1–11.

- Zhu, Z., Bai, Y., Lv, M., Tian, G., Zhang, X., Li, L., Jiang, Y., Ge, S.** (2020). Soil fertility, microbial biomass, and microbial functional diversity responses to four years fertilization in an Apple orchard in North China. – *Horticultural Plant Journal*, Vol. 6 (4), pp. 223–230.
- *Zsolnay, A.** (2003). A.Zsolnay. – *Geoderma*, Vol. 113, pp. 187–210, viidatud: Bolan, S. N., Adriano, C. D., Kunhikrishnan, A., James, T., McDowell, R., Senesi, N. (2011). Chapter One – Dissolved organic matter: biogeochemistry, Dynamics, and environmental significance in soils. – *Advances in Agronomy*, Vol. 110, pp. 1–75 vahendusel.
- Yuan, G., Huan, W., Song, H., Lu, D., Chen, X., Wang, H., Zhou, J.** (2021). Effects of straw incorporation and potassium fertilizer on crop yields, soil organic carbon, and active carbon in the rice-wheat system. – *Soil & Tillage Research*, Vol. 209, pp. 1–8.

LISAD

Lisa 1. Väetamise täpsemad andmed (allikas VI)

Crop	Fertilization	N	NP	FYM ³ +N	FYM ³ +NP
Sugar beets ¹	N [kg ha ⁻¹]	100 + 70	100 + 70	100 + 50	100 + 50
	P [kg ha ⁻¹]	-	60	-	12
Spring barley ¹	N [kg ha ⁻¹]	40 + 40	40 + 40	30 + 30	30 + 30
	P [kg ha ⁻¹]	-	-	-	-
Potatoes	N [kg ha ⁻¹]	140	140	120	120
	P [kg ha ⁻¹]	-	60	-	12
Winter wheat ¹	N [kg ha ⁻¹]	50 + 50	50 + 50	40 + 40	40 + 40
	P [kg ha ⁻¹]	-	-	-	-
Silage maize ²	N [kg ha ⁻¹]	140	140	120	120
	P [kg ha ⁻¹]	-	60	-	12

¹ The mineral N fertilization has been divided into two applications

² Silage maize replaces root crops since 2015

³ Farmyard manure (FYM) has been applied (30 t ha⁻¹) every second year with root crops (sugar beets, potatoes) and since 2015 with maize cropping

Lisa 2. Väetamise mõjul mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) ja labiilsete fraktsioonide süsiniku kontsentratsioonide muutused (%) võrreldes väetamata variandiga.

Fraktsioon	Mineraalsete väetistega väetamine		Orgaanilise väetisega väetamine		Mineraalse ja orgaanilise väetisega väetamine	
	Keskmine	Min/Max	Keskmine	Min/Max	Keskmine	Min/Max
C_{org}	8,6	-2/33	48,3	0/235	62,0	44/82
POXC ¹	34,9	-8,9/154,5	286,4	181,0/390,9	116,8	115,4/118,1
LFOC ²	38,8	-34,1/325	68,3	22,2/126,1	247,9	11,1/725
POC ³	31,3	-25,7/100	107,2	-13,1/625	107,9	91,7/125
C_{ex} ⁴	-4,5	-55,1/72,9	39,8	-15,7/178,5	75,4	27,8/154,4
MBC	-13,3	-59,5/78,6	74,8	23,4/128,57	22,2	-46,4/170,6

Lisa 3. Mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) ja labiilsete fraktsioonide C kontsentratsioonid erinevates katsetes sõltuvalt väetamisest

Allikas	Variant	C_{org} , g kg ⁻¹	CPI	POXC, g kg ⁻¹	POC, g kg ⁻¹	LFOC, g kg ⁻¹	C_{ex} , g kg ⁻¹	MBC, g kg ⁻¹
I	Kontroll	10,88	-	3,82	1,05	0,48	-	-
	N väetis	11,55	1,06	3,49	1,26	0,55	-	-
	Kontroll	11,7	-	3,58	1,11	0,73	-	-
	N väetis	12,19	1,12	3,41	1,79	0,79	-	-
II	Kontroll	6,2	-	-	0,72	-	0,13	0,14
	N väetis	6,2	1,00	-	0,68	-	0,14	0,16
	NP väetis	8,2	1,31	-	1,15	-	0,18	0,25
	Vedel veisesõnnik	9,9	1,60	-	1,39	-	0,22	0,26
	NP väetis + põhk	10,7	1,73	-	1,38	-	0,21	0,28
	N väetis + vedel veisesõnnik	11,3	1,82	-	1,49	-	0,23	0,32
III	Kontroll	9,5	-	1,3	-	0,40	0,06	0,47
	N väetis	12,6	1,33	2,1	-	1,70	0,10	0,53
	N väetis + põhk	14,8	1,56	2,8	-	3,30	0,15	0,58
IV	Kontroll	7,34	-	1,1	0,80	0,27	0,08	0,17
	N väetis	8,57	1,17	1,4	1,10	0,26	0,08	0,28
	Komposteeritud veisesõnnik	15,68	2,14	3,1	3,00	0,33	0,19	0,38
	½ N väetis + ½ komposteeritud veisesõnnik	12,24	1,67	2,4	1,80	0,30	0,10	0,25
	2 x N väetis	9,56	1,30	2,8	1,60	0,26	0,10	0,23
	2 x komposteeritud veisesõnnik	24,61	3,35	5,4	5,80	0,42	0,22	0,46
V	Kontroll	12,7	-	3	-	-	0,09	0,30
		13	-	3,3	-	-	0,08	0,39
		13,6	-	4,5	-	-	0,04	0,37
	N väetis	12,9	1,02	3,7	-	-	0,07	0,17

Lisa 3 (järg). Mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) ja labiilsete fraktsioonide C kontsentratsioonid erinevates katsetes sõltuvalt väetamisest.

V	N väetis	13,1	1,01	4,1	-	-	0,04	0,25
		14,1	1,04	4,1	-	-	0,04	0,28
	P väetis	12,4	0,98	3,8	-	-	0,04	0,24
		13,7	10,5	4,12	-	-	0,04	0,22
		14	1,03	5	-	-	0,04	0,30
	NP väetis	13,1	1,03	5,3	-	-	0,08	0,21
		14,5	1,12	4,13	-	-	0,08	0,27
		14,3	1,05	5,6	-	-	0,04	0,23
	NPK väetis	13,2	1,04	4,4	-	-	0,08	0,15
		14,2	1,09	5,6	-	-	0,05	0,23
		14,9	1,10	5,4	-	-	0,04	0,15
VI	Kontroll	15,5	-	-	-	0,33	0,02	-
	N väetis	16	1,03	-	-	0,29	0,03	-
	NP väetis	16,5	1,06	-	-	0,21	0,03	-
	Sõnnik	22,3	1,44	-	-	0,74	0,04	-
	N väetis + sõnnik	23,3	1,5	-	-	0,77	0,04	-
	NP väetis + sõnnik	22,3	1,44	-	-	0,71	0,04	-
VII _a	Kontroll	35	-	-	4,92	-	0,35	0,69
	NPK väetis	36	1,03	-	3,66	-	0,35	0,53
	Vedelseasõnnik	35	1,00	-	4,65	-	0,36	0,37
	Vedelveisesõnnik	38	1,09	-	5,41	-	0,36	0,38
	Kanasõnnik	39	1,11	-	4,86	-	0,35	0,42
VII _b	Kontroll	19,0	-	-	2,03	-	0,31	0,16
	NPK väetis	19,0	1,00	-	1,99	-	0,24	0,16
	Vedelseasõnnik	20,0	1,05	-	2,16	-	0,26	0,12
	Vedelveisesõnnik	20,0	1,05	-	1,94	-	0,26	0,12
	Kanasõnnik	19,0	1,00	-	1,77	-	0,26	0,16

Lisa 4. Erinevate labiilsete fraktsioonide kaudu leitud mulla orgaanilise aine labiilsused (L) erinevates katsetes.

Allikas	Variant	L(POXC)	L(LFOC)	L(POC)	L(C _{ex})	L(MBC)
I	Kontroll	0,54	0,040	0,11	-	-
	N väetis	0,43	0,050	0,12	-	-
	Kontroll	0,44	0,067	0,10	-	-
	N väetis	0,39	0,069	0,10	-	-
II	Kontroll	-	-	0,13	0,022	0,023
	N väetis	-	-	0,12	0,023	0,026
	NP väetis	-	-	0,16	0,023	0,031
	Vedel veisesõnnik	-	-	0,16	0,23	0,027
	NP väetis + põhk	-	-	0,15	0,020	0,027
	N väetis + vedel veisesõnnik	-	-	0,15	0,021	0,029
III	Kontroll	0,16	0,044	-	0,006	0,052
	N väetis	0,20	0,156	-	0,008	0,044
	N väetis + põhk	0,23	0,287	-	0,010	0,040
IV	Kontroll	0,18	0,038	0,12	0,011	0,024
	N väetis	0,20	0,031	0,15	0,010	0,034
	Komposteeritud veisesõnnik	0,25	0,021	0,24	0,012	0,025
	½ N väetis + ½ komposteeritud veisesõnnik	0,24	0,025	0,17	0,008	0,021
	2 x N väetis	0,41	0,028	0,20	0,010	0,025
	2 x komposteeritud veisesõnnik	0,28	0,017	0,31	0,009	0,019
V	Kontroll	0,31	-	-	0,007	0,024
		0,34	-	-	0,006	0,031
		0,49	-	-	0,003	0,028
	N väetis	0,40	-	-	0,005	0,013
		0,46	-	-	0,003	0,019
		0,41	-	-	0,003	0,021

Lisa 4 (järg). Erinevate labiilsete fraktsioonide kaudu leitud mulla orgaanilise aine labiilsused (L) erinevates katsetes.

V	P väetis	0,44	-	-	0,003	0,020
		0,43	-	-	0,003	0,020
		0,56	-	-	0,003	0,022
	NP väetis	0,68	-	-	0,006	0,017
		0,40	-	-	0,005	0,019
		0,64	-	-	0,003	0,016
	NPK väetis	0,50	-	-	0,006	0,012
		0,65	-	-	0,004	0,012
		0,57	-	-	0,002	0,010
VI	Kontroll	-	0,021	-	0,001	-
	N väetis	-	0,018	-	0,002	-
	NP väetis	-	0,013	-	0,002	-
	Sõnnik	-	0,034	-	0,002	-
	Sõnnik + N väetis	-	0,034	-	0,002	-
	Sõnnik + NP väetis	-	0,033	-	0,002	-
VII _a	Kontroll	-	-	0,16	0,010	0,020
	NPK väetis	-	-	0,11	0,010	0,015
	Vedelseasõnnik	-	-	0,15	0,010	0,011
	Vedelveisesõnnik	-	-	0,17	0,010	0,010
	Kanasõnnik	-	-	0,14	0,009	0,010
VII _b	Kontroll	-	-	0,012	0,016	0,009
	NPK väetis	-	-	0,12	0,013	0,008
	Vedelseasõnnik	-	-	0,12	0,013	0,006
	Vedelveisesõnnik	-	-	0,11	0,013	0,006
	Kanasõnnik	-	-	0,10	0,014	0,008

Lisa 5. Erinevate labiilsete fraktsioonide kaudu leitud mulla orgaanilise aine labiilsuse indeksid (LI) erinevates katsetes.

Allikas	Variant	LI(POXC)	LI(LFOC)	LI(POC)	LI(C _{ex})	LI(MBC)
I	Kontroll	-	-	-	-	-
	N väetis	0,8	1,08	1,15	-	-
	Kontroll	-	-	-	-	-
	N väetis	0,72	1,50	1,64	-	-
II	Kontroll	-	-	-	-	-
	N väetis	-	-	0,94	1,04	1,14
	NP väetis	-	-	1,24	1,03	1,36
	Vedel veisesõnnik	-	-	1,24	1,03	1,16
	NP väetis + põhk	-	-	1,13	0,92	1,16
	N väetis + vedel veisesõnnik	-	-	1,16	0,94	1,27
III	Konroll	-	-	-	-	-
	N väetis	1,26	3,55	-	1,31	0,83
	N väetis + põhk	1,47	6,53	-	1,64	0,78
IV	Kontroll	-	-	-	-	-
	N väetis	1,11	0,82	1,2	0,88	1,42
	Komposteeritud veisesõnnik	1,4	0,56	1,93	1,10	1,05
	½ N väetis + ½ komposteeritud veisesõnnik	1,38	0,66	1,41	0,76	0,87
	2 x N väetis	2,35	0,73	1,64	0,95	1,04
	2 x komposteeritud veisesõnnik	1,59	0,45	2,52	0,83	0,80
V	Kontroll	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
	N väetis	1,30	-	-	0,77	0,55
		1,34	-	-	0,44	0,63
		0,83	-	-	0,90	0,73
	P väetis	1,43	-	-	0,46	0,81

Lisa 5 (järg). Erinevate labiilsete fraktsioonide kaudu leitud mulla orgaanilise aine labiilsuse indeksid (LI) erinevates katsetes.

V	P väetis	1,26	-	-	0,52	0,54
		1,12	-	-	0,95	0,77
	NP väetis	2,20	-	-	0,87	0,69
		1,17	-	-	0,86	0,60
		1,30	-	-	0,91	0,58
	NPK väetis	1,62	-	-	0,90	0,48
		1,91	-	-	0,60	0,53
		1,10	-	-	0,76	0,36
VI	Kontroll	-	-	-	-	-
	N väetis	-	0,85	-	1,20	-
	NP väetis	-	0,61	-	1,18	-
	Sõnnik	-	1,59	-	1,15	-
	Sõnnik + N väetis	-	1,59	-	1,12	-
	Sõnnik + NP väetis	-	1,54	-	1,20	-
VII _a	Kontroll	-	-	-	-	-
	NPK väetis	-	-	0,69	0,97	0,75
	Vedelseasõnnik	-	-	0,94	1,01	0,54
	Vedelveisesõnnik	-	-	1,01	0,94	0,50
	Kanasõnnik	-	-	0,87	0,88	0,54
VII _b	Kontroll	-	-	-	-	-
	NPK väetis	-	-	0,97	0,78	0,96
	Vedelseasõnnik	-	-	1,01	0,80	0,72
	Vedelveisesõnnik	-	-	0,90	0,80	0,69
	Kanasõnnik	-	-	0,86	0,85	0,95

Lisa 6. Erinevate labiilsete fraktsioonide kaudu leitud mulla süsiniku majandamise indeksdi (CMI) erinevates katsetes.

Allikas	Variant	CMI (POXC)	CMI (LFOC)	CMI (POC)	CMI (C _{ex})	CMI (MBC)
I	Kontroll	-	-	-	-	-
	N väetis	85,0	115,0	121,7	-	-
	Kontroll	-	-	-	-	-
	N väetis	80,4	168,2	184,0	-	-
II	Kontroll	-	-	-	-	-
	N väetis	-	-	93,8	103,8	113,2
	NP väetis	-	-	164,2	136,2	180,0
	Vedel veisesõnnik	-	-	198,5	164,8	185,7
	NP väetis + põhk	-	-	194,5	158,4	200,0
	N väetis + vedel veisesõnnik	-	-	210,7	170,4	230,7
IV	Kontroll	-	-	-	-	-
	N väetis	129,3	95,7	140,6	102,4	166,3
	Komposteeritud veisesõnnik	298,6	120,3	413,2	234,4	223,8
	½ N väetis + ½ komposteeritud veisesõnnik	230,7	109,7	235	127,5	145,5
	2 x N väetis	306,0	95,3	124,0	124,0	135,5
	2 x komposteeritud veisesõnnik	534,7	152,4	845,2	278,0	269,4
V	Kontroll	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
	N väetis	132,1	-	-	78,5	55,8
		134,9	-	-	44,7	63,0
		86,0	-	-	92,8	75,5
	P väetis	139,5	-	-	44,8	78,7
		133,2	-	-	55,0	56,4
		115,6	-	-	97,6	79,8
	NP väetis	226,6	-	-	98,8	70,7

Lisa 6 (järg). Erinevate labiilsete fraktsioonide kaudu leitud mulla süsiniku majandamise indeksdi (CMI) erinevates katsetes.

V	NP väetis	130,6	-	-	96,1	67,2
		136,9	-	-	95,2	60,5
	NPK väetis	168,0	-	-	93,2	50,1
		209,1	-	-	65,2	58,2
		125,9	-	-	83,3	39,1
VI	Kontroll	-	-	-	-	-
	N väetis	-	88,2	-	123,9	-
	NP väetis	-	65,4	-	125,3	-
	Sõnnik	-	228,9	-	164,8	-
	Sõnnik + N väetis	-	239,2	-	167,9	-
	Sõnnik + NP väetis	-	221,7	-	173,1	-
VII _a	Kontroll	-	-	-	-	-
	NPK väetis	-	-	71	100,3	77,4
	Vedelseasõnnik	-	-	93,6	101,1	53,5
	Vedelveisesõnnik			110,2	102,2	54,8
	Kanasõnnik	-	-	96,8	98,5	60,0
VII _b	Kontroll	-	-	-	-	-
	NPK väetis	-	-	97,5	78,1	96,3
	Vedelseasõnnik	-	-	106,3	84,3	75,9
	Vedelveisesõnnik	-	-	94,5	84,0	72,2
	Kanasõnnik	-	-	85,5	85,4	95,1

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Kristi Kõva,
(18.02.1999)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Väetamise mõju mulla orgaanilise aine labiilsele fraktsioonile,

mille juhendaja on vanemteadur Karin Kauer, *PhD*

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 20.05.2021

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Karin Kauer

20.05.2021

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)